



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RACIONALIZACE VÝROBY SOUČÁSTI

RATIONALIZATION OF A PART PRODUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Bartl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Lukáš Bartl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Racionalizace výroby součástí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Racionalizace výroby součástí z hliníkových slitin.

Cíle diplomové práce:

Rozbor součástkové základny dílů z hliníkových slitin.

Rozbor charakteru výroby z hlediska sériovosti.

Výběr typového představitele.

Zpracování návrhu racionalizace výroby pro sériovou i kusovou variantu.

Zpracování kompletní technologické přípravy výroby pro typového představitele.

Ekonomické vyhodnocení.

Diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

ŠTULPA, Miroslav. CNC obráběcí stroje. 2. dotisk, 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM Publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 1. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005, 81 s. ISBN 80-214-3066-4.

JUROVÁ, Marie. Řízení výroby I, Část 2. 2. přepracované a doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006, 138 s. ISBN 80-214-3134-2.

BAUER, Miroslav. Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě. 1. vyd. Brno: BizBooks, 2012, 193 s. ISBN 978-80-265-0029-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh racionalizačních řešení součástky Bonnet, která je typovým představitelem nejdůležitějších úseků širšího spektra součástek od zákazníka. Úvodní část popisuje součástkovou základnu, podle níž je vybrán typový představitel, který se poté charakterizuje z pohledu sériovosti. Následující rozsáhlá část třídění spotřeby času ve strojírenství je potřebná pro samotné výpočty, které jsou stěžejní součástí této práce. Návrh racionalizace výroby se zabývá vyloučením zbytečných ztrát a využití existujících rezerv, pomocí vyšší úrovně techniky, technologie, organizace práce, výroby a řízení, které vedou ke zvýšení produktivity práce. Technologická příprava výroby zajišťuje zpracování dokumentace, návrh polotovaru, stroje, upínání, měření a výpočet potřebných technologických parametrů pro zajištění výroby. V závěrečné fázi je technicko-ekonomické vyhodnocení racionalizačních návrhů, které početně vyhodnocuje analyzované výstupy této práce.

Klíčová slova

racionalizace, trochoidní frézování, konvenční obrábění, vícestrojová obsluha, just-in-time

ABSTRACT

The assigned thesis is focused on the proposal of rationalization solutions to the component Bonnet, which is a standard representative of the most important sections of broader spectrum of customer's components. The introduction part describes the component basis, according to which the standard representative was chosen, later on characterised from the point of view of seriality. The following large part of classfying the time comsumption in machinery is essential for the calculations as such, which are the essential part of this dissertation. The proposal of production rationalization is concerned with the exclusion of unnecessary losses and using existing ressources with the help of a higher level of machinery, technology, work organisation, production and management, which lead to a higher labour productivity. The technological production preparation ensures the documentation processing, the proposal of semi-finished product, machines, fastening, measuring and calculation of necessary technological specifications for ensuring the production. In the final part, there is to be found the technical and economical evaluation of rationalization proposals, which numerically evaluates the analysed outputs of this thesis.

Key words

rationalization, trochoidal milling, conventional machining, machine coupling, just-in-time

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BARTL, L. *Racionalizace výroby součástí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 82 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Racionalizace výroby součástí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
24. 5. 2017

Datum

.....
Bc. Lukáš Bartl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Karlu Osičkovi, Ph.D., za cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování této diplomové práce. Zejména děkuji svým rodičům, manželce, rodině a kamarádům, kteří mně po celou dobu tohoto dlouhého studia podporovali.

OBSAH

ABSTRAKT.....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTKOVÉ ZÁKLADNY DÍLŮ Z HLINÍKOVÝCH SLITIN	10
2 ROZBOR CHARAKTERU VÝROBY Z HLEDISKA SÉRIOVOSTI.....	11
2.1 Třídění spotřeby času ve strojírenské výrobě	12
2.2 Spotřeba času pracovníka v operaci	14
2.2.1 Jednotkový čas.....	14
2.2.2 Dávkový čas	16
2.2.3 Směnový čas.....	17
2.3 Spotřeba času pracovníka ve směně	19
2.4 Časy používané ve výrobní dokumentaci.....	21
2.5 Spotřeba času výrobního zařízení.....	22
2.6 Spotřeba času výrobku.....	24
2.7 Jednotkový strojní čas pro frézování	25
2.7.1 Obvodové frézování	25
2.7.2 Frézování čelem.....	27
2.8 Jednotkový strojní čas pro vrtání.....	30
3 TYPOVÝ PŘEDSTAVITEL	32
4 NÁVRH RACIONALIZACE VÝROBY	34
4.1 Adaptivní trochoidní frézování vs konvenční obrábění s použitím HPC strategie	34
4.1.1 Variantní řešení	39
4.1.1.1 Popis operace s variantními řešeními.....	40
4.1.2 Hodnocení variant	42
4.2 Organizace a význam VSO.....	43
4.2.1 Identifikace času obsluhy jednoho stroje	43
4.2.2 Teoretický počet obsluhovaných strojů.....	45
4.2.3 Systém VSO	45
4.2.4 Využití stroje	48
4.2.5 Počet obsluhovaných strojů je menší, jako teoretický $m < m_t$	49

4.2.6 Počet obsluhovaných strojů větší, jako teoretický $m > m_t$	51
5 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY	53
5.1 Polotovar	53
5.2 Stroj	54
5.3 Technologický postup	55
5.4 Upínání	60
5.5 Měření	61
5.6 Operační návodka.....	62
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	64
6.1 Technologické parametry systému VSO a stávající metody s jedním strojem	64
6.2 Hodnocení metod	70
7 DISKUZE.....	71
ZÁVĚR	73
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	74
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	77
SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

V posledních letech je k vidění dynamický rozvoj výrobních organizací a tím i národního hospodářství. Tohoto rozvoje není možné dosáhnout bez řady kvalitativních změn v podnicích i v ekonomice jako celku. Jejich účelem je uvést do souladu celý výrobní systém se současným vědeckotechnickým rozvojem a rozvojem řízení.

Racionalizace je jedním z nástrojů, kterým je možno dosáhnout výše uvedeného stavu, který lze chápat jako součást řízení zdokonalování stávajícího stavu. Na racionalizaci jsou kladeny stále větší a náročnější požadavky, které mají za úkol hledat možnosti ke zvýšení efektivity podniku a jeho jednotlivých pracovišť nebo celého výrobního systému.

Diplomový projekt je zaměřen na racionalizaci výroby typového představitele a řešen ve spolupráci s firmou, která se zaměřuje hlavně na přesné CNC frézování, CNC soustružení, broušení a elektroerozivní obrábění. Zpravidla se jedná o kusovou, popřípadě malosériovou výrobu dílů z oceli nebo z neželezných kovů (dural, mosaz, měď, titan apod.).

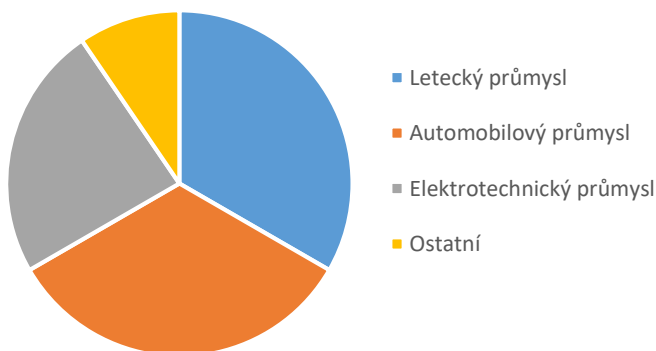
Cílové skupiny zákazníků (viz obr. 1) jsou výrobci z oboru optoelektronického průmyslu, automobilového průmyslu a firmy, které pro svoji výrobu používají tvářecí nástroje, přípravky (zejména stříhací, tažné, ohýbací a lisovací) a formy na lisování plastů, kterým je zajišťována výroba formou reverzního inženýrství.

Častá spolupráce se svými stabilními zákazníky již ve fázi konstrukce a přípravy budoucích výrobků zaručuje výrobek, který konstrukčně odpovídá požadavkům zákazníka a je navržen technologicky co nejlépe, tedy s optimálním poměrem k ceně výrobku a životnosti nástroje.

Firma prosazuje tyto základní principy:

- přesnost,
- spolehlivost,
- rychlost a flexibilita,
- kvalita,
- optimální cena.

Firma disponuje veškerými technologiemi (Edge CAM, SolidWorks, Kovoprog, aj.), které jsou potřeba pro přesné, rychlé a kvalitní vyrobení součástky, její užitné hodnoty a životnosti.



Obr. 1 Skupiny odvětví zákazníků firmy.

1 ROZBOR SOUČÁSTKOVÉ ZÁKLADNY DÍLŮ Z HLINÍKOVÝCH SLITIN

Klíčový zákazník firmy je světový lídr v oblasti leteckého a kosmického průmyslu. Jednou z jeho oblastí je navrhování a výroba kuchyní do letadel (viz obr. 2). Produkty jsou navrženy a vyrobeny na zakázku s odlišnými vlastnostmi dle potřeb zákazníka, kterému je vše podle požadavků přizpůsobeno. Firma je tedy schopna produkovat velké objemy, jakožto i malé série vysoce přizpůsobené soukromým potřebám majitele letadla.

Firma kooperuje se zákazníkem na určitých součástkách těchto kuchyňských linek. Škála zmíněných součástek je velmi různorodá, avšak v podstatě typizovaná. Tím se usnadňuje zavádění nových součástek podobného typu do výroby. Z tohoto důvodu je v programu Solidworks navržen typový představitel, zahrnující v sobě jejich typické vlastnosti nebo parametry, které optimálně splňují jak technické, tak ekonomické požadavky většiny typově podobných součástek [2].



Obr. 2 Kuchyně letadla Airbus A320 [35].

2 ROZBOR CHARAKTERU VÝROBY Z HLEDISKA SÉRIOVOSTI

Předpokládaná roční série požadována zákazníkem je 4000 ks, která bude dle potřeb zákazníka rozdělena na dávky o maximálně 100 ks. U každého nového, avšak typologicky podobného výrobku, je vyroben jeden kus. Pokud zákazník schválí jeho kvalitu, čeká se pouze na objednávku o dané dávce, kterou zákazník aktuálně potřebuje.

Kooperace firmy s jeho zákazníkem, vzešla z oboustranné spokojené spolupráce mezi oběma subjekty. Firma prošla výběrovým řízením a přesně odpovídá všem stanoveným požadavkům. Je však dána podmínka souhlasu se spoluprací v oblasti vstupních a výstupních kontrol či schopnosti přebírat a dodávat technickou dokumentaci odpovídající organizačním směrnicím zákazníka. Velmi krátké dodací lhůty od objednání se všemi dalšími specifickými požadavky, vyžadují změnu tradičního systému řízení výroby [32].

Jednou ze základních filozofií přístupu k organizování moderního výrobního podniku v rámci logistického řetězce zákazník – výrobce – dodavatel je systém just-in-time (JIT). Tento systém může být chápán, jako jedna z metod použitelných pro plánování a řízení výroby [31].

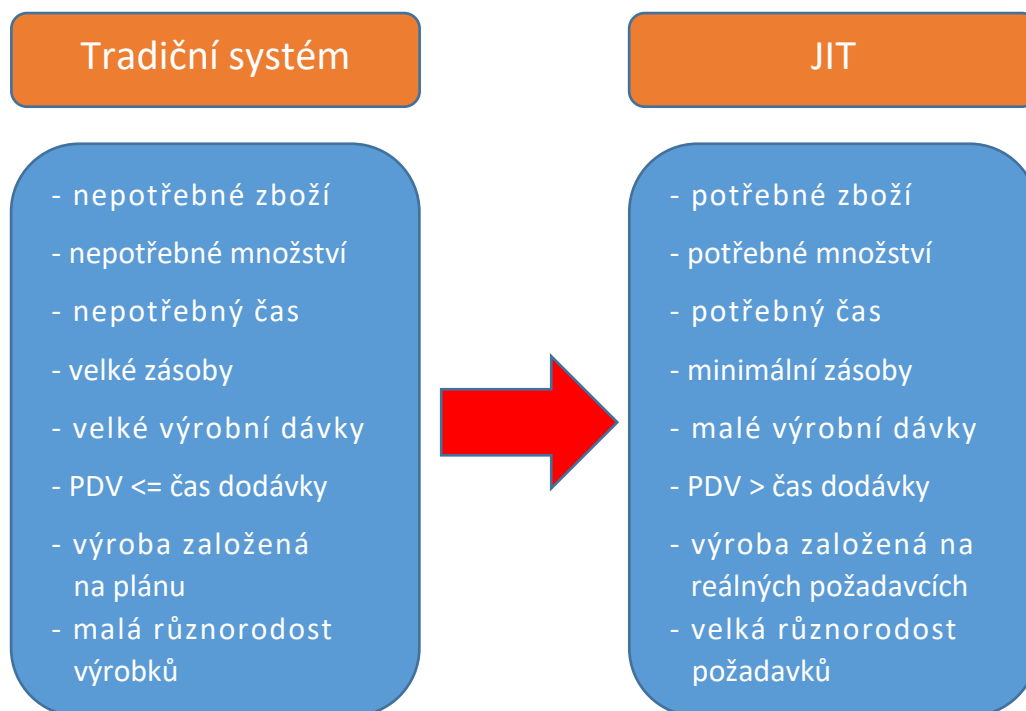
Hlavní cíle implementace JIT [33]:

- odstranění nepotřebných skladových zásob,
- redukce zásob v meziskladech a dílenských mezioperačních zásobnících na nejnižší možnou úroveň,
- snížení hodnoty oběžného majetku – materiálů, dílců výrobků,
- zkrácení průběžné doby výroby,
- pružnost systému – okamžitá reakce na požadavky zákazníků, zlepšení dodavatelské schopnosti.

JIT eliminuje ztráty v průběhu celého výrobního procesu, avšak jsou tady možné překážky, na které je možno při implementaci tohoto narazit. JIT představuje složitý, a především dlouhodobý proces. Je to nový způsob řízení, který přináší mnoho změn za účelem zvýšení efektivnosti procesů, nejen v oblasti výroby (viz obr. 3). Všeobecná averze lidí k jakýmkoli změnám je do určité míry příčinou překážek ze stran pracovníků a managementu [33, 34].

Hlavní překážky implementace JIT [34].:

- management není jednotný při vynakládání skutečného úsilí k přechodu k JIT,
- mistři a střední management se staví proti, bojí se delegovat své pravomoci, přežívá vrozený konzervatismus – jistotu staví před změny.



Obr. 3 Porovnání tradičního a Just-In-Time systému [33].

2.1 Třídění spotřeby času ve strojírenské výrobě

Všechny činnosti v pracovním a výrobním procesu probíhají v čase. Při rozborech a zkoumání účelného vynakládání času, hledání možností nahrazení neúčelných činností účelnějšími a odstranění zbytečných činností se rozlišují rozdílné druhy spotřebovávaného času, které se třídí do skupin. Jako pomůcka pro uvedené potřeby jsou zavedeny systémy klasifikace časů (viz obr. 4, 5) spotřebovaných pracovníkem, zařízením, a časů souvisejících s předmětem práce (přemísťování, manipulace, doprava). Je potřeba rozlišit spotřebu času. Příkladem může být VSO kde čas výrobního zařízení v porovnání s časem pracovníka nemusí být shodný, tj. jeden pracovník obsluhuje více strojů, nebo více pracovníků obsluhuje méně strojů [1, 6, 7].

Základní značení [2]:

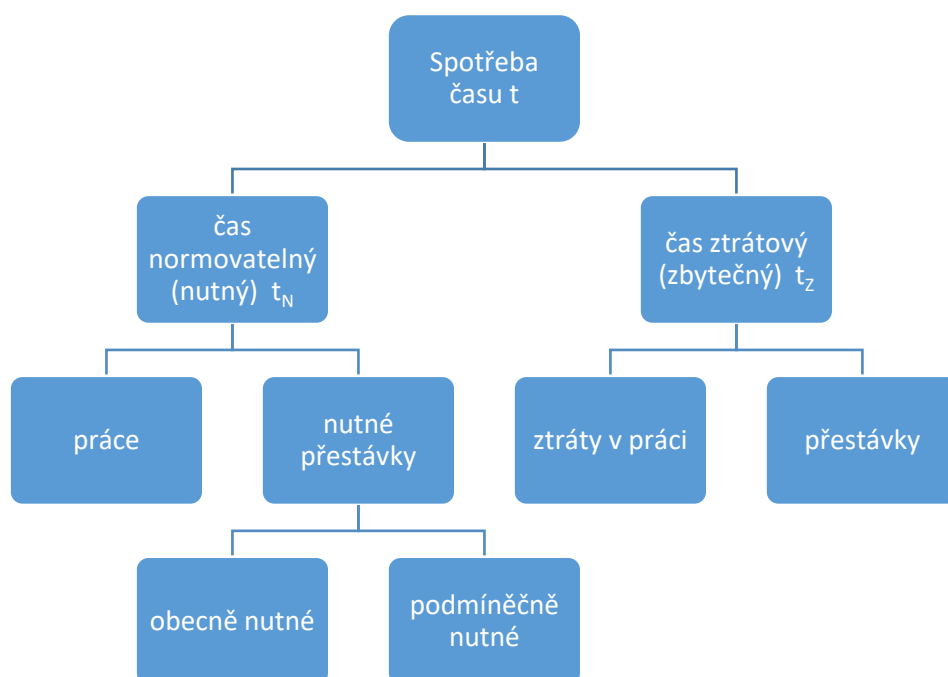
$t \Rightarrow$ určuje normu času připadající na složku práce,

$T \Rightarrow$ určuje čas směny nebo druh času připadající na směnu.

Označováním jednotlivých druhů času zkratkami a symboly se zpracování časových dat velmi zjednodušuje. Spotřeba času výrobního procesu souvisí s konkretizací časové a cenové náročnosti výrobního procesu [1, 7].

Obecné třídění spotřeby času:

- čas normovatelný, nutný (čas práce, čas nutných přestávek),
- čas ztrátový, zbytečný.



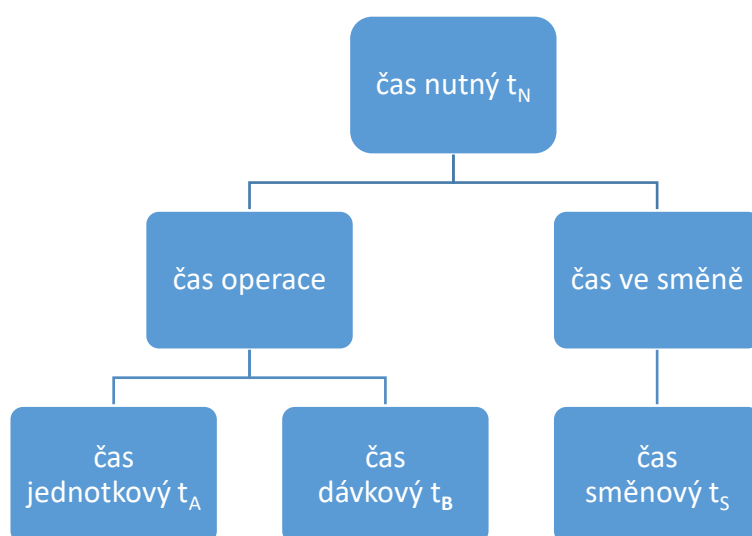
Obr. 4 Základní schéma třídění spotřeby času [2].

Základní činitelé výrobního procesu [1]:

- pracovník,
- výrobní zařízení (pracovní prostředek),
- výrobek (předmět práce).

Třídění času je vztaženo [1]:

- k operaci,
- ke směně.



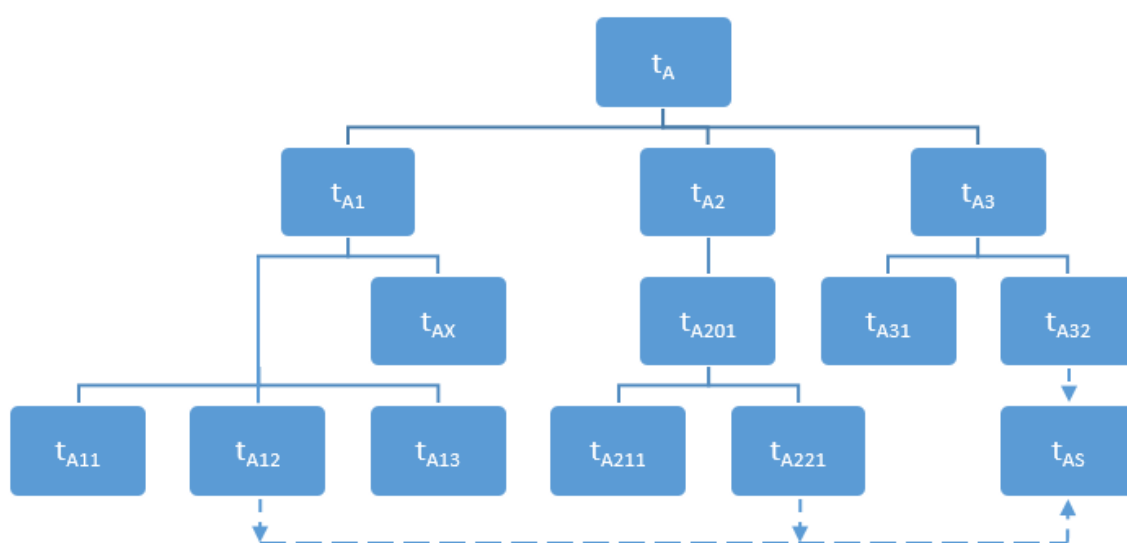
Obr. 5 Rozdělení normovatelného času [1].

2.2 Spotřeba času pracovníka v operaci

Je to normovatelný čas, který určuje jednotlivé složky práce pracovníka v operaci. Jeho hlavní rozdělení je na čas jednotkový, který je vztažen k určité jednotce produkce, čas dávkový, který je vztažen k produkované výrobní dávce a čas směnový, který se vztahuje ke spotřebě času za směnu.

2.2.1 Jednotkový čas

Jednotkový čas (viz obr. 6) je vztažen k jednotce produkce (ks, m, kg, atd.) a jeho spotřeba roste s počtem realizovaných jednotek [1, 2].



Obr. 6 Typové schéma normy jednotkového času t_A [2,38].

Čas jednotkový t_A [1]:

$$t_A = t_{A1} + t_{A2} + t_{A3} \text{ [min]} \quad (2.1)$$

kde: t_{A1} [min] - čas jednotkové práce,
 t_{A2} [min] - čas jednotkových obecně nutných přestávek,
 t_{A3} [min] - čas jednotkových podmíněně nutných přestávek.

Čas jednotkové práce t_{A1} [1]:

$$t_{A1} = (t_{A11} + t_{A12} + t_{A13}) \cdot t_{AX} \text{ [min]} \quad (2.2)$$

kde: t_{A11} [min] - čas jednotkové práce za klidu stroje,
 t_{A12} [min] - čas jednotkové práce za chodu stroje,
 t_{A13} [min] - čas jednotkové práce strojně ruční,
 t_{AX} [%] - čas nepravidelné obsluhy.

Čas nepravidelné obsluhy t_{AX} [38]:

$$t_{AX} = \frac{t_{AX} \text{ za směnu}}{t_{ASsm} + t_{A13}} [\%] \quad (2.3)$$

kde: t_{ASsm} [min] - průměrný strojní čas za směnu,
 t_{A13} [min] - čas jednotkové práce strojně ruční.

Čas jednotkových obecně nutných přestávek t_{A2} [1]:

$$t_{A2} = t_{A201} = t_{A211} + t_{A221} [\text{min}] \quad (2.4)$$

kde: t_{A201} [min] - přestávka na oddech,
 t_{A211} [min] - čas jednotkových obecně nutných přestávek za klidu stroje (vzniká u činností, kdy se neuskutečňuje automatický chod stroje a kdy není nutná účast pracovníka na prováděné práci),
 t_{A221} [min] - čas jednotkových obecně nutných přestávek za chodu stroje (vzniká u činností, kdy se uskutečňuje automatický chod stroje jako aktivní pozorování nebo oddech).

Čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek t_{A3} se může realizovat v době automatického chodu stroje (čekání pracovníka na ukončení cyklu stroje) [1]:

$$t_{A3} = t_{A31} + t_{A32} [\text{min}] \quad (2.5)$$

kde: t_{A31} [min] - čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek za klidu stroje,
 t_{A32} [min] - čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek za chodu stroje (čekání pracovníka na ukončení cyklu stroje).

Při realizaci VSO je zpravidla [1]:

$$t_{A31} = 0 [\text{min}] \quad (2.6)$$

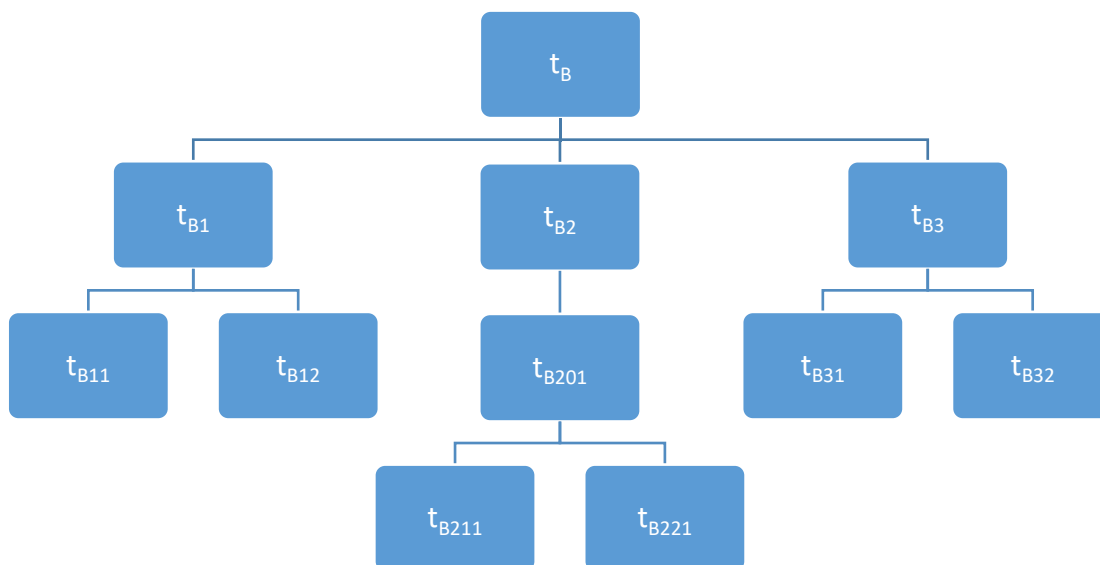
Čas jednotkový strojní t_{AS} je čas automatického chodu stroje a zahrnuje všechny technologické činnosti (hlavní i vedlejší), které jsou potřebné k realizaci obráběcího procesu a jsou prováděny automaticky strojem [1]:

$$t_{AS} = t_{A12} + t_{A221} + t_{A32} [\text{min}] \quad (2.7)$$

kde: t_{A12} [min] - čas jednotkové práce za chodu stroje,
 t_{A221} [min] - čas jednotkových obecně nutných přestávek za chodu stroje vzniká u činností, kdy se uskutečňuje automatický chod stroje (aktivní pozorování nebo oddech),
 t_{A32} [min] - čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek za chodu stroje (čekání pracovníka na ukončení cyklu stroje).

2.2.2 Dávkový čas

Dávkový čas (viz obr. 7) je vztažen k výrobní dávce (zahrnuje nastavení stroje, prostudování výrobní dokumentace) a jeho spotřeba roste s počtem realizovaných dávek [1].



Obr. 7 Typové schéma normy dávkového času t_B [2, 38].

Čas dávkový t_B [1, 38]:

$$t_B = t_{B1} + t_{B2} + t_{B3} \text{ [min]} \quad (2.8)$$

kde: t_{B1} [min] - čas dávkové práce,
 t_{B2} [min] - čas dávkových obecně nutných přestávek,
 t_{B3} [min] - čas dávkových podmíněně nutných přestávek.

Čas dávkové práce t_{B1} [1]:

$$t_{B1} = t_{B11} + t_{B12} \text{ [min]} \quad (2.9)$$

kde: t_{B11} [min] - čas dávkové práce za klidu,
 t_{B12} [min] - čas dávkové práce za chodu.

Čas dávkových obecně nutných přestávek t_{B2} [1, 38]:

$$t_{B2} = t_{B201} = t_{B211} + t_{B221} \text{ [min]} \quad (2.10)$$

kde: t_{B201} [min] - přestávka na oddech (dávka),
 t_{B211} [min] - čas dávkový na oddech za klidu,
 t_{B221} [min] - čas dávkový na oddech za chodu.

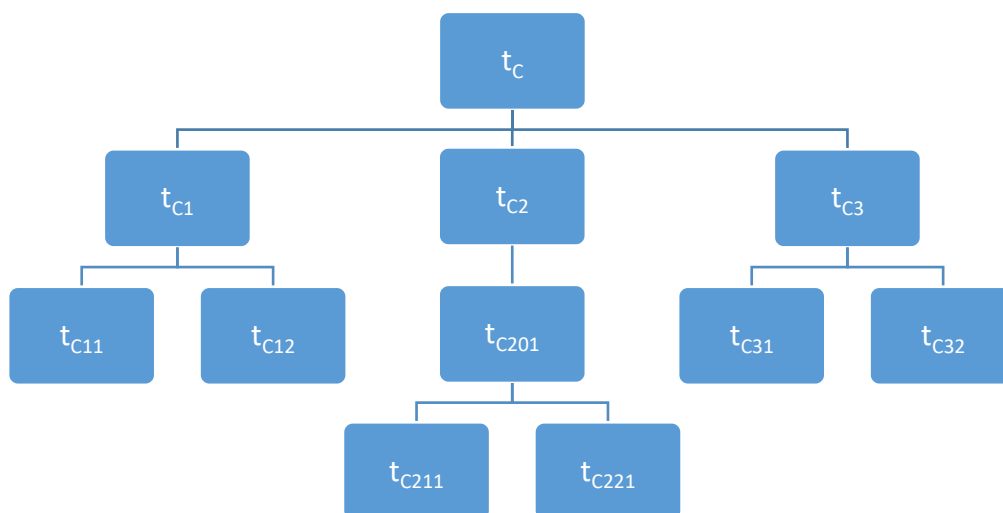
Čas dávkových obecně nutných přestávek t_{B3} [1]:

$$t_{B3} = t_{B31} + t_{B32} \text{ [min]} \quad (2.11)$$

kde: t_{B31} [min] - čas dávkových podmíněčně nutných přestávek za klidu,
 t_{B32} [min] - čas dávkových podmíněčně nutných přestávek za chodu.

2.2.3 Směnový čas

Směnový čas (viz obr. 8) je vztažen k pracovní směně (příprava pracoviště na začátku směny, úklid pracoviště na konci směny, zhotovení záznamu práce na konci směny). Jeho spotřeba roste s počtem odpracovaných směn nezávisle na počtu jednotek výroby nebo počtu dávek, které se mají během směny realizovat [1].



Obr. 8 Typové schéma normy směnového času t_c [2, 38].

Čas směnový t_c [1]:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{c3} \text{ [min]} \quad (2.12)$$

kde: t_{c1} [min] - čas směnové práce,
 t_{c2} [min] - čas směnových obecně nutných přestávek,
 t_{c3} [min] - čas směnových podmíněčně nutných přestávek.

Čas směnové práce t_{c1} [1]:

$$t_{c1} = t_{c11} + t_{c12} \text{ [min]} \quad (2.13)$$

kde: t_{c11} [min] - čas směnové práce za klidu,
 t_{c12} [min] - čas směnové práce za chodu.

Čas směnových obecně nutných přestávek t_{C2} [1, 38]:

$$t_{C2} = t_{B201} = t_{B211} + t_{B221} \text{ [min]} \quad (2.14)$$

kde: t_{B201} [min] - přestávka na oddech ve směně,
 t_{B211} [min] - čas směnový na oddech za klidu,
 t_{B221} [min] - čas směnový na oddech za chodu.

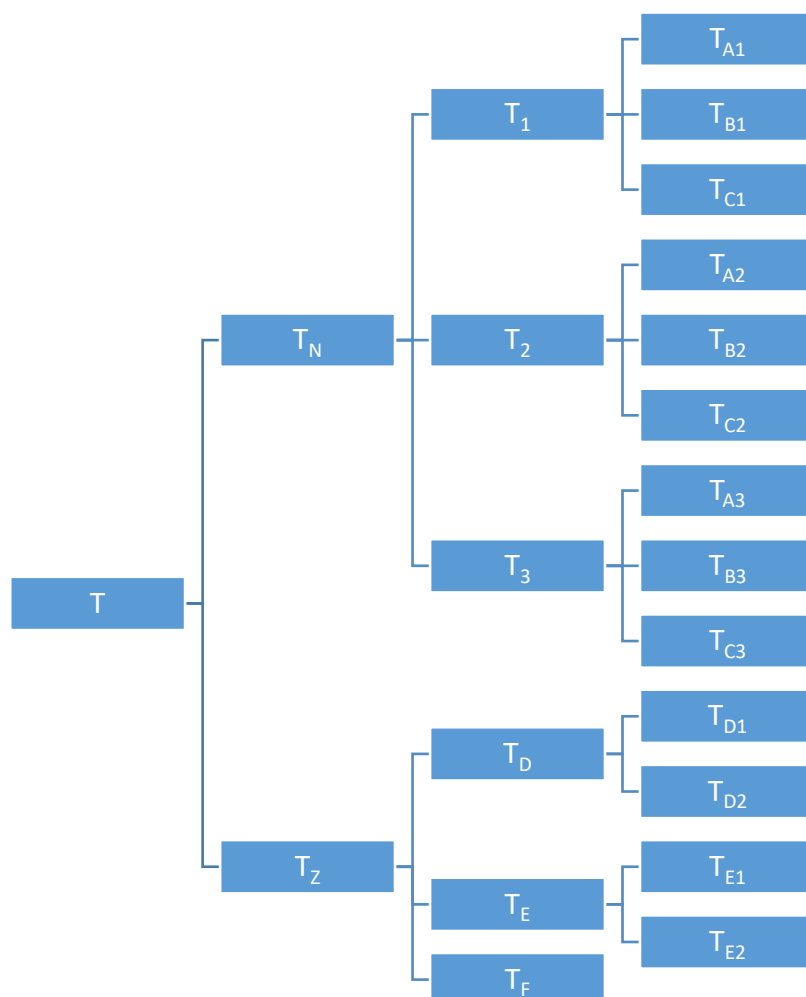
Čas směnových obecně nutných přestávek t_{C3} [1]:

$$t_{C3} = t_{C31} + t_{C32} \text{ [min]} \quad (2.15)$$

kde: t_{C31} [min] - čas směnových podmíněčně nutných přestávek za klidu,
 t_{C32} [min] - čas směnových podmíněčně nutných přestávek za hod.

2.3 Spotřeba času pracovníka ve směně

Je to celkový čas určité organizační jednotky nebo pracoviště (objekt, pracovník) za směnu (viz obr. 9). Pokud čistá pracovní doba stanovená organizací podle zákoníku práce má dobu trvání 7,5 hodin, pak čas směny je 7,5 hodin [7].



Obr. 9 Základní schéma třídění spotřeby času ve směně [2].

Čas směny T [1]:

$$T = T_N + T_Z \text{ [min]} \quad (2.17)$$

kde: T_N [min] - čas směny normovatelný,
 T_Z [min] - čas směny ztrátový.

Čas směny normovatelný T_N [1]:

$$T_N = T_1 + T_2 + T_3 \text{ [min]} \quad (2.18)$$

- kde: T_1 [min] - čas práce,
 T_2 [min] - čas obecně nutných přestávek ve směně,
 T_3 [min] - čas podmíněčně nutných přestávek ve směně.

Čas práce T_1 [1]:

$$T_1 = T_{A1} + T_{B1} + T_{C1} \text{ [min]} \quad (2.19)$$

- kde: T_{A1} [min] - čas jednotkové práce,
 T_{B1} [min] - čas dávkové práce,
 T_{C1} [min] - čas směnové práce.

Čas obecně nutných přestávek ve směně T_2 [1]:

$$T_2 = T_{A2} + T_{B2} + T_{C2} \text{ [min]} \quad (2.20)$$

- kde: T_{A2} [min] - čas jednotkových obecně nutných přestávek,
 T_{B2} [min] - čas dávkových obecně nutných přestávek,
 T_{C2} [min] - čas směnových obecně nutných přestávek.

Čas podmíněčně nutných přestávek ve směně T_3 [1]:

$$T_3 = T_{A3} + T_{B3} + T_{C3} \text{ [min]} \quad (2.21)$$

- kde: T_{A3} [min] - čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek,
 T_{B3} [min] - čas dávkových podmíněčně nutných přestávek,
 T_{C3} [min] - čas směnových podmíněčně nutných přestávek.

Čas směny ztrátový T_Z [1]:

$$T_Z = T_D + T_E + T_F \text{ [min]} \quad (2.22)$$

- kde: T_D [min] - osobní ztráty času ve směně,
 T_E [min] - technickoorganizační ztráty času ve směně,
 T_F [min] - ztráty času ve směně způsobené vyšší mocí.

Osobní ztráty času ve směně T_D [1, 2]:

$$T_D = T_{D1} + T_{D2} \text{ [min]} \quad (2.23)$$

kde: T_{D1} [min] - osobní ztráty času ve směně zaviněné (nepřítomnosti na pracovišti, oprava zmetků),

T_{D2} [min] - osobní ztráty času ve směně nezaviněné (krátkodobé ošetření, nevýrobní porady).

Technickoorganizační ztráty času ve směně T_E [1, 2]:

$$T_E = T_{E1} + T_{E2} \text{ [min]} \quad (2.24)$$

kde: T_{E1} [min] - čas více práce (stroj, nástroj, přídavek na obrábění),

T_{E2} [min] - čas čekání (důvody technické např. poruchy strojů nebo náradí, organizační např. čekání na stroj, nástroj nebo materiál).

2.4 Časy používané ve výrobní dokumentaci

Jsou to časy specifikované ve výrobním postupu [1].

Jednotkový čas s přírážkou času směnového t_{AC} [1]:

$$t_{AC} = t_A \cdot k_C \text{ [min]} \quad (2.25)$$

Dávkový čas s přírážkou času směnového t_{BC} [1]:

$$t_{BC} = t_B \cdot k_C \text{ [min]} \quad (2.26)$$

Jednotkový čas s přírážkou času dávkového a směnového t_{ABC} [1]:

$$t_{ABC} = t_A \cdot k_{BC} \text{ [min]} \quad (2.27)$$

kde: t_A [min] - čas jednotkový,

k_C [-] - přírážka směnového času,

t_B [min] - čas dávkový,

k_{BC} [-] - přírážka dávkového a směnového času.

Přirážka směnového času k_C [1]:

$$k_C = \frac{T}{T - T_C} = \frac{T_A + T_B + T_C}{T_A + T_B} > 1 \text{ [%]} \quad (2.28)$$

Přirážka dávkového a směnového času k_{BC} [1]:

$$k_{BC} = \frac{T}{T - T_B - T_C} = \frac{T_A + T_B + T_C}{T_A} = \frac{T}{T_A} > 1 \text{ [%]} \quad (2.29)$$

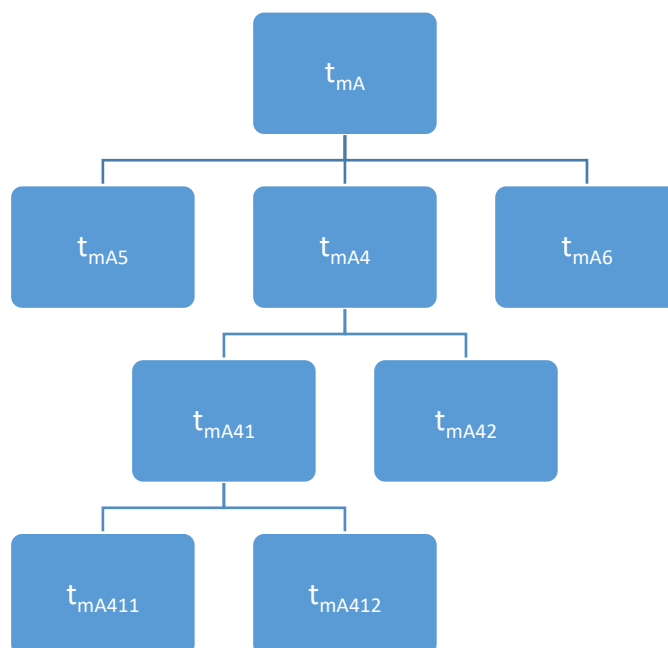
kde: T [min] - čas směny,
 T_A [min] - čas jednotkový,
 T_B [min] - čas dávkový,
 T_C [min] - čas směnový.

2.5 Spotřeba času výrobního zařízení

Z hlediska výrobního zařízení sledujeme, zda bylo zařízení v chodu nebo v klidu. Členění výrobního zařízení je znázorněno na obr. 10. Skladba času výrobního zařízení se obecně liší od času pracovníka [1, 2].

Konkretizace [1]:

t_{mA} [min] - jednotkový čas stroje,
 t_{mB} [min] - dávkový čas stroje,
 t_{mC} [min] - směnový čas stroje,



Obr. 10 Třídění spotřeby času z hlediska stroje [2].

Jednotkový čas stroje t_{mA} [1]:

$$t_{mA} = t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6} \text{ [min]} \quad (2.30)$$

kde: t_{mA5} [min] - jednotkový čas klidu stroje (dělník upíná obrobek, seřizuje stroj),

t_{mA4} [min] - jednotkový čas chodu stroje,

t_{mA6} [min] - jednotkový čas interference stroje.

Jednotkový čas chodu stroje t_{mA4} [1]:

$$t_{mA4} = t_{mA41} + t_{mA42} \text{ [min]} \quad (2.31)$$

kde: t_{mA41} [min] - jednotkový čas hlavního chodu stroje (přetváření předmětu, odebrání třísky),

t_{mA42} [min] - jednotkový čas pomocného chodu stroje (naprázdno, přemísťování předmětu či nástroje).

Jednotkový čas hlavního chodu stroje t_{mA41} [1]:

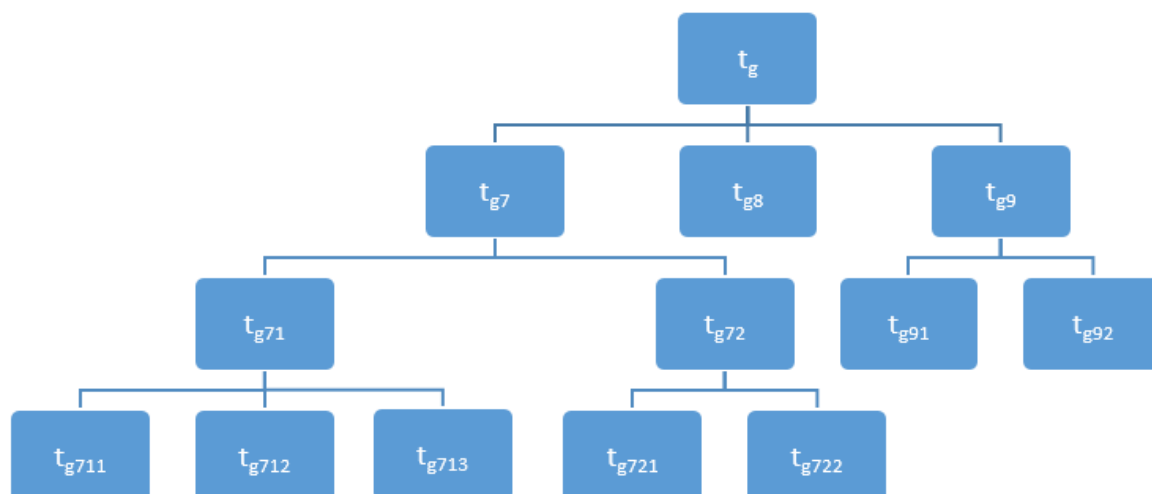
$$t_{mA41} = t_{mA411} + t_{mA412} \text{ [min]} \quad (2.32)$$

kde: t_{mA411} [min] - jednotkový čas automatického chodu stroje,

t_{mA412} [min] - jednotkový čas řízeného chodu stroje.

2.6 Spotřeba času výrobku

Je to čas, který posuzuje účelnost pohybu výrobků či pracovních předmětů, k určení optimálních dávek zpracovávaných výchozích materiálů, které jsou potřebné pro bezporuchový, plynulý a ekonomický průběh procesu. Rozdělení času výrobku je uvedeno na obrázku 11 [48].



Obr. 11 Třídění spotřeby času výrobku [1].

Čas výrobku t_g [1]:

$$t_g = t_{g7} + t_{g8} + t_{g9} \text{ [min]} \quad (2.33)$$

kde: t_{g7} [min] - čas pohybu,

t_{g8} [min] - čas balení,

t_{g9} [min] - čas klidu.

Čas pohybu t_{g7} [1]:

$$t_{g7} = t_{g71} + t_{g72} \text{ [min]} \quad (2.34)$$

kde: t_{g71} [min] - čas přeměny,

t_{g72} [min] - čas přemístění.

Čas přeměny t_{g71} [1]:

$$t_{g71} = t_{g711} + t_{g712} + t_{g713} \text{ [min]} \quad (2.35)$$

kde: t_{g711} [min] - čas přeměny působením pracovníka,

t_{g712} [min] - čas přeměny působením výrobního zařízení,

t_{g713} [min] - čas přeměny působením přírodních sil.

Čas přemístění t_{g72} [1]:

$$t_{g72} = t_{g721} + t_{g722} \text{ [min]} \quad (2.36)$$

kde: t_{g721} [min] - čas přepravy,
 t_{g722} [min] - čas umístování.

Čas přemístění t_{g9} [1]:

$$t_{g9} = t_{g91} + t_{g92} \text{ [min]} \quad (2.37)$$

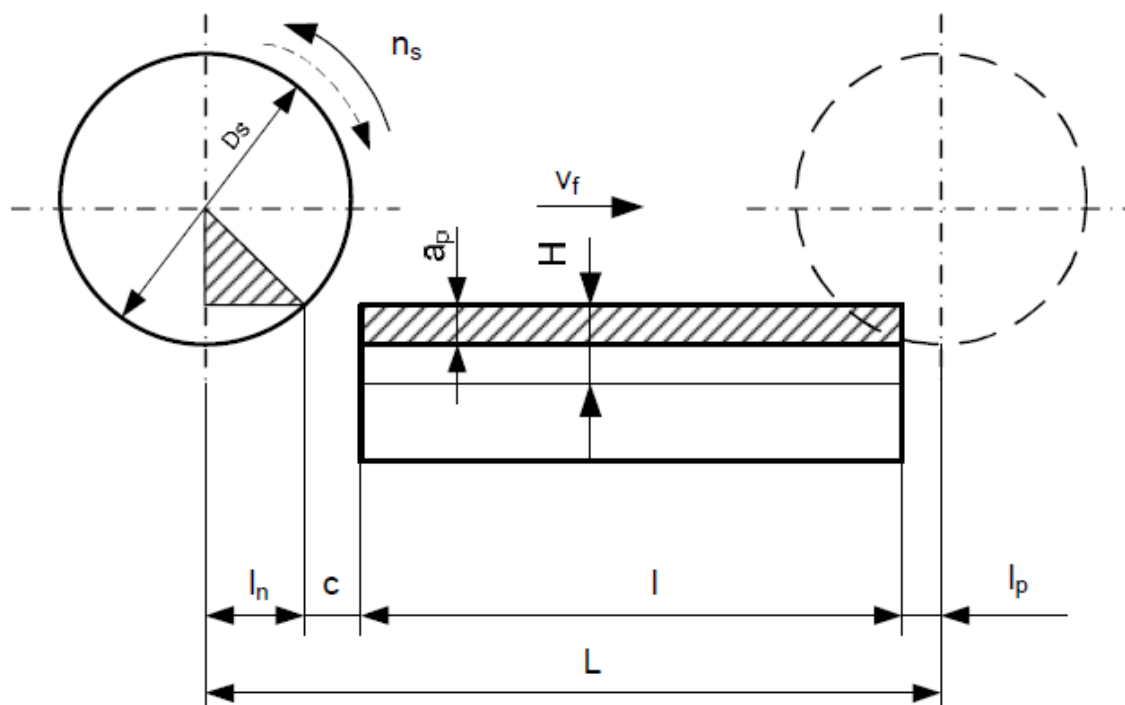
kde: t_{g91} [min] - čas uložení,
 t_{g92} [min] - čas kontroly.

2.7 Jednotkový strojní čas pro frézování

Jednotkový strojní čas pro frézování je rozdílný podle toho, zda se jedná o frézování obvodem nebo čelem.

2.7.1 Obvodové frézování

Grafické znázornění pro výpočet jednotkového strojního času obvodového frézování, které je prováděno válcovou frézou je uvedeno na obrázku 12.



Obr. 12 Frézování obvodem frézy [2, 6].

Základní vztahy pro výpočet t_{AS} frézování obvodem [2]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \cdot i \text{ [min]} \quad (2.38)$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_s \cdot n_s}{10^3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.39)$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n_s \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.40)$$

$$L = l + l_n + l_p + c \text{ [mm]} \quad (2.41)$$

$$l_n = \sqrt{H \cdot (D_s - H)} \text{ [mm]} \quad (2.42)$$

$$i = \frac{H}{a_p} [-] \quad (2.43)$$

Po dosazení do základního vzorce je jednotkový strojní čas frézování obvodem t_{as} pro odebrání přídávku H [2]:

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D_s \cdot (l + l_n + l_p + c)}{10^3 \cdot v_c \cdot f_z \cdot z} \cdot \frac{H}{a_p} \text{ [min]} \quad (2.44)$$

kde:	L [mm]	-	celková dráha nástroje,
	l [mm]	-	délka frézované plochy,
	l_n [mm]	-	náběh nástroje,
	l_p [mm]	-	přeběh nástroje ($1 \div 2$ mm),
	c [mm]	-	bezpečnostní náběh ($1 \div 2$ mm),
	f_z [mm]	-	posuv na zub,
	z [-]	-	počet zubů frézy,
	n_s [min ⁻¹]	-	otáčky frézy,
	D_s [mm]	-	průměr frézy,
	a_p [mm]	-	šířka záběru,
	H [mm]	-	celkový přídavek na obrábění,
	v_f [mm·min ⁻¹]	-	rychlost posuvu,
	v_c [m·min ⁻¹]	-	řezná rychlost,
	i [-]	-	počet třísek.

2.7.2 Frézování čelem

Frézování čelem se liší ve vztahu proti frézování obvodem pouze změnou délky náběhu l_n a přeběhu l_p . Rozděluje se na frézování souměrné a nesouměrné, které se rozlišují ve vyosení nástroje vůči obrobku značeném e . U obou případů platí, že délka náběhu $l_n = 2-10 \text{ mm}$ a bezpečnostní přeběh $c = 1-2 \text{ mm}$ [2].

Souměrné frézování

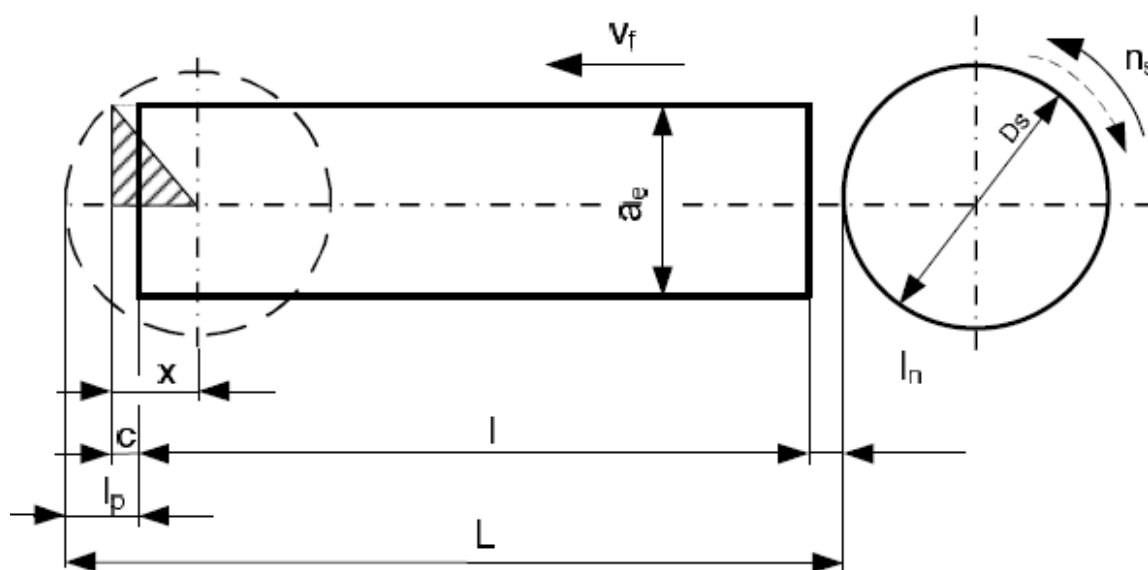
Souměrné frézování hrubovací (viz obr. 13) platí, pokud není nutno přejíždět celou frézou obráběnou plochu [2]:

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \quad (2.45)$$

$$l_p = \frac{D_s}{2} - x + c \text{ [mm]} \quad (2.46)$$

Hodnota x (Pythagorova věta) [2]:

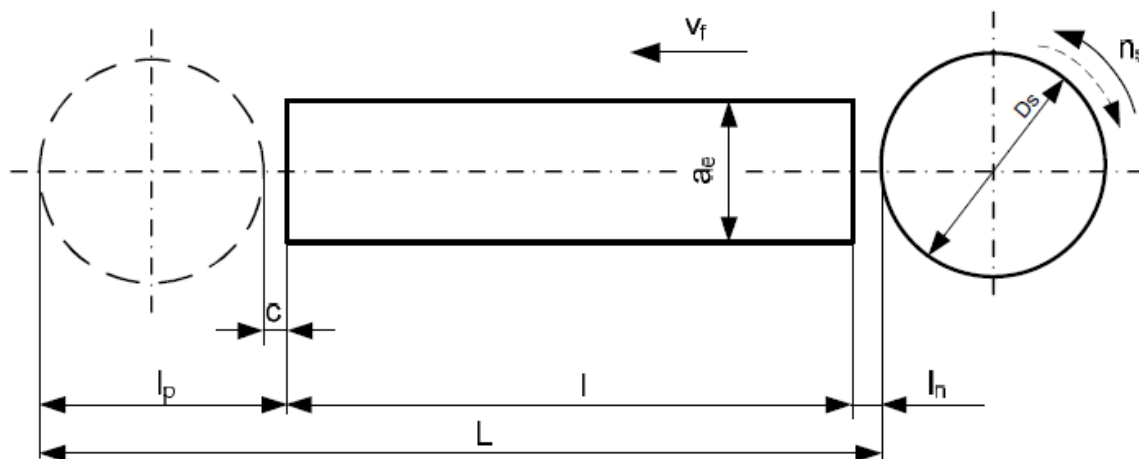
$$x = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(D_s^2 - a_e^2)} \text{ [mm]} \quad (2.47)$$



Obr. 13 Souměrné frézování čelní frézou - hrubování [2, 6].

Pokud bude obráběno na čisto je třeba přejet celou frézou za materiál (viz obr. 14) a proto je délka přeběhu l_p na čisto dána vztahem [2]:

$$l_p = D_s + c \text{ [mm]} \quad (2.48)$$



Obr. 14 Souměrné frézování čelní frézou – na čisto [2, 6].

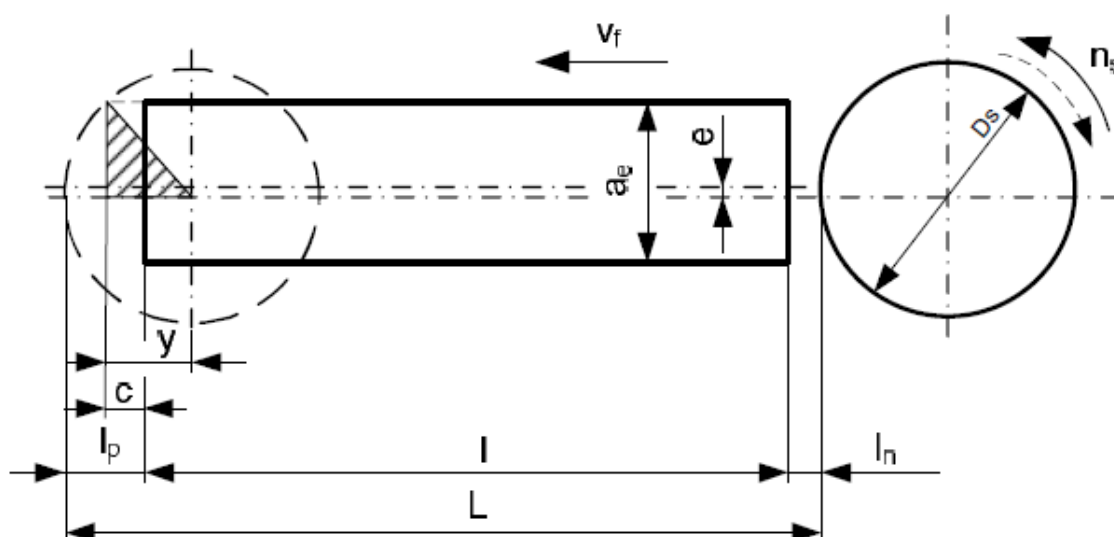
Nesouměrné frézování

Při hrubování u nesouměrného frézování (viz obr. 15) je délka přeběhu l_p dána vztahem [2]:

$$l_p = \frac{D_s}{2} - y + c \text{ [mm]} \quad (2.49)$$

Hodnota y (Pythagorova věta) [2]:

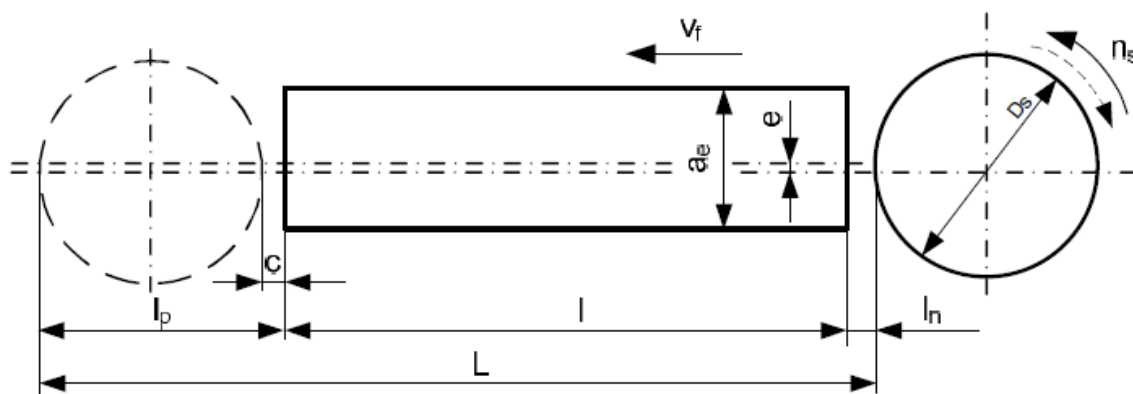
$$y = \sqrt{\frac{D_s}{4} - \left(\frac{D_s}{2} - x\right)^2} \text{ [mm]} \quad (2.50)$$



Obr. 15 Nesouměrné frézování čelní frézou – hrubování [2, 6].

Při obrábění na čisto (viz obr. 16) u nesouměrného frézování je délka přeběhu l_p dána vztahem [2]:

$$l_p = D_s + c \text{ [mm]} \quad (2.51)$$



Obr. 16 Nesouměrné frézování čelní frézou – na čisto [2, 6].

Po dosazení do základního vzorce je jednotkový strojní čas frézování čelem t_{as} pro odebrání přídatku H [2]:

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot D_s \cdot (l + l_n + l_p)}{10^3 \cdot v_c \cdot f_z \cdot z} \cdot \frac{H}{a_p} [\text{mm}] \quad (2.52)$$

Tento vztah je platný, pokud povrch bude obroben na jedno projetí tzn. $a_e \leq D_s$, je-li tomu naopak, potom výraz násobíme počtem přejetí i [2].

2.8 Jednotkový strojní čas pro vrtání

Jednotkový strojní čas pro vrtání (viz obr. 17) je dán těmito vztahy [2]:

$$L = l + l_n + l_p [\text{mm}] \quad (2.53)$$

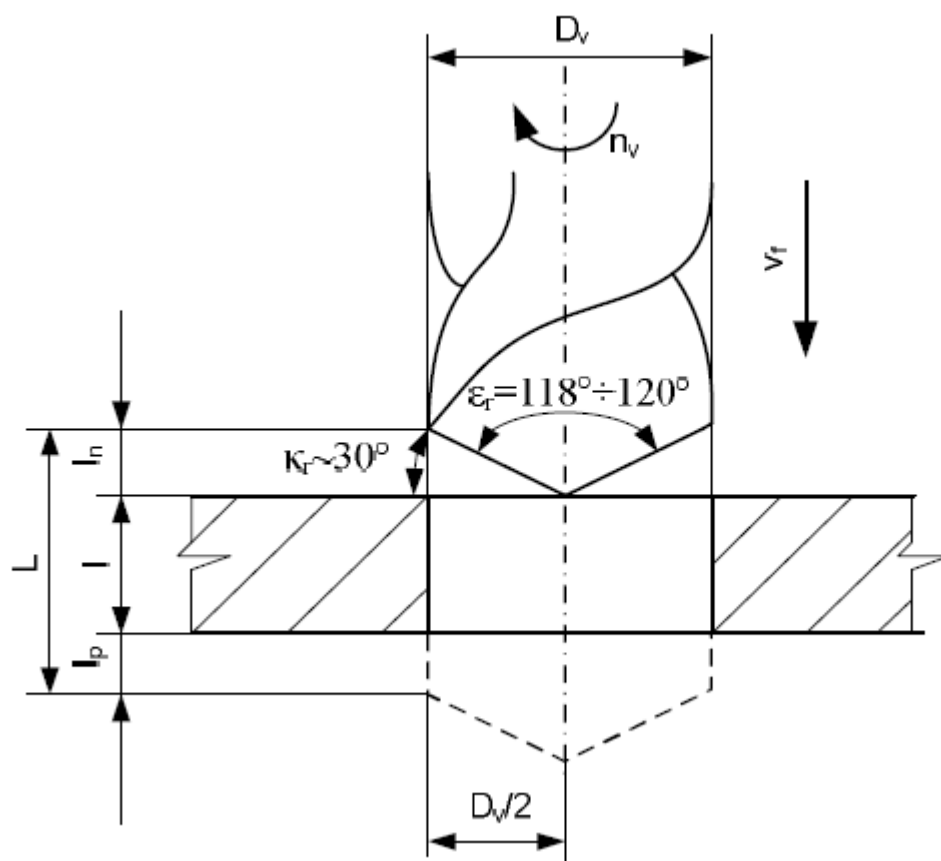
$$l_n = \frac{D_s}{2} \cdot \text{tg} \kappa_r \approx \frac{D_s}{2} \cdot \text{tg} \left(\frac{180 - \varepsilon_r}{2} \right) [\text{mm}] \quad (2.54)$$

$$l_p = \frac{D_s}{2} \cdot \text{tg} \kappa_r + (0,5 \text{ až } 2) \approx \frac{D_s}{2} \cdot \text{tg} \left(\frac{180 - \varepsilon_r}{2} \right) + (0,5 \text{ až } 2) [\text{mm}] \quad (2.55)$$

$$t_{AS} = \frac{L}{f \cdot n_s} = \frac{\pi \cdot (l + l_n + l_p)}{10^3 \cdot v_c \cdot f_n} [\text{mm}] \quad (2.56)$$

kde:	L [mm]	-	celková dráha nástroje,
	l [mm]	-	délka frézované plochy,
	l_n [mm]	-	náběh nástroje,
	l_p [mm]	-	přeběh nástroje,
	f_n [mm]	-	posuv na otáčku,
	n_s [min ⁻¹]	-	frekvence otáček frézy,
	D_s [mm]	-	průměr frézy,
	κ_r [°]	-	úhel nastavení hlavního ostří,
	ε_r [°]	-	úhel špičky vrtáku,
	v_c [m·min ⁻¹]	-	řezná rychlost.

Pokud jsou díry neprůchozí nebo zahlubované tak je velikost přeběhu $l_p = 0$ mm. U zahlubování, vyhrubování, vystružování je velikost náběhu $l_n = 1-2$ mm. Při řezání závitů se velikost náběhu rovná $l_n = \text{délce náběhového kužele závitníku} + 1-2$ mm [2].



Obr. 17 Vrtání díry [2, 6].

3 TYPOVÝ PŘEDSTAVITEL

Součástka Bonnet, která je součástí kuchyní do letadel Airbus A320 je z materiálu slitiny hliníku EN AW-7075 T651 (DIN - AlZnMgCu1,5), která je používána např. v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu, výrobě strojů, a to zejména tam, kde je důležitá kombinace vysoké tvrdosti a nízké hmotnosti. Chemické složení a mechanické vlastnosti slitiny EN AW-7075 T651 jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2 [28].

Nevýhodou může být náchylnost ke korozi z vnitřního pnutí, kterou snižujeme přidáním mědi, zatímco se zvyšuje pevnost. Avšak zejména u slitin AlZnMg s obsahem mědi je snižena odolnost proti atmosférické korozi a náchylnost k vrubům. Existence vrubů a rýh může při měnící se zátěži velmi rychle vést k prasklinám [28].

Tab. 1 Chemické složení slitiny EN-AW 7075 T651 v procentuální hmotnosti [26].

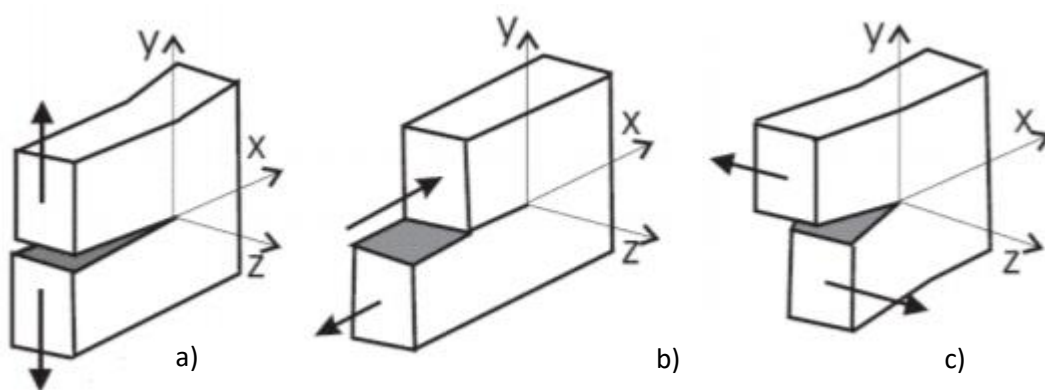
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti	Ostatní	Al
0,4	0,5	1,2-2,0	0,3	2,1-2,9	0,18-0,28	5,1-6,1	0,2	0,15	zbytek

Tab. 2 Mechanické vlastnosti slitiny EN-AW 7075 T651 [27].

R_m [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A_5 [%]	Tvrdost [HBS]	ρ [kg·m ⁻³]	E [GPa]	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	α [10 ⁻⁶ ·K ⁻¹]	G [S]
≥500	≥450	3-8	≥140	2810	~71	130-160	23,4	19-23

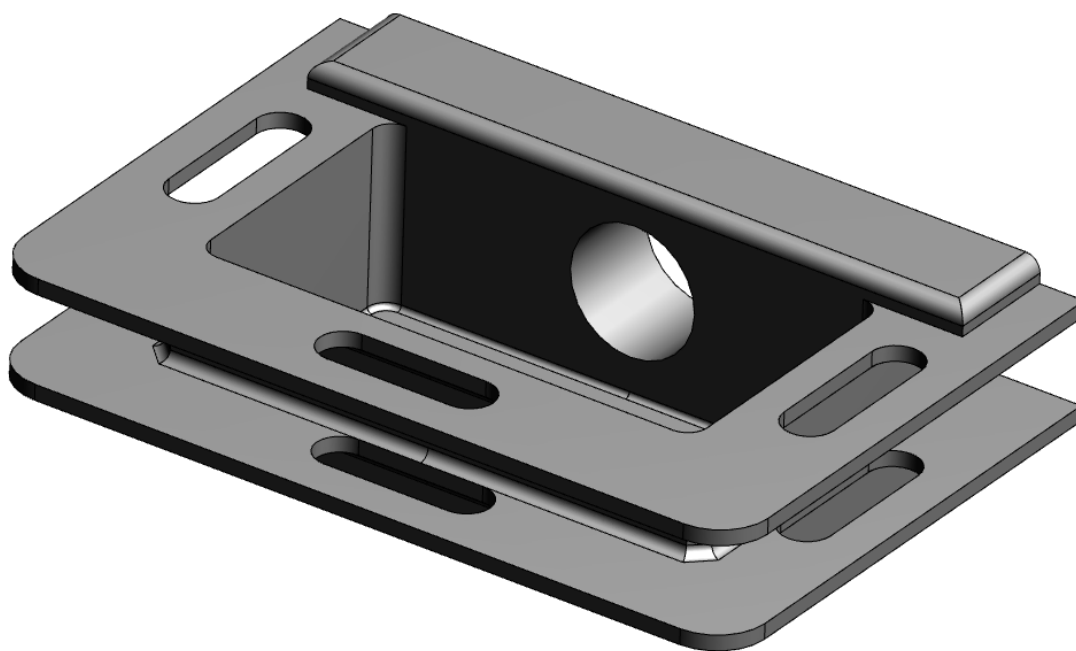
kde: R_m [Mpa] - mez pevnosti,
 $R_{p0,2}$ [Mpa] - smluvní mez kluzu,
 A_5 [%] - tažnost,
 ρ [kg·m⁻³] - hustota,
E [GPa] - modul pružnosti v tahu,
 λ [W·m⁻¹·K⁻¹] - měrná tepelná vodivost,
 α [10⁻⁶·K⁻¹] - koeficient tepelné roztažnosti,
G [S] - elektrická vodivost.

Vzhledem k tomu, že se součástka Bonnet používá v leteckém průmyslu je její konstrukce vytvořena s co největším důrazem na minimální hmotnost. Veškeré kapsy, vybrání a otvory v kombinaci s deformacemi letadla však mohou více či méně působit jako koncentrátoři napětí, které jsou zárodkem vrubů. Vzhledem k tomu, že materiál EN AW-7075 T651 má sníženou odolnost vůči vrubům a při měnící se zátěži by mohlo dojít k prasklinám (viz obr. 18), jsou v koncentrátorech napětí zkonstruovány rádiusy, které eliminují možnost těchto hrozeb.



Obr. 18 Namáhání trhliny [36]. a) tah, b) smyk, c) krut.

Použití součástky Bonnet (viz obr. 19) je od zákazníka pouze specifikováno jako nepohledový díl s všeobecným tolerováním ISO 2768-mK s jediným tolerovaným rozměrem $\varnothing 25 \pm 0,05$ mm. Požadavky na strukturu povrchu jednoznačně zajišťují funkční vlastnosti povrchu. Pokud není uvedeno jinak, pak je struktura povrchu $R_a 3,2 \mu\text{m}$ (viz příloha 1). Funkce součástky není známa, tudíž není možno posoudit relevantnost délkových tolerancí, geometrických tolerancí a ani struktury povrchu [37].



Obr. 19 Součástka Bonnet.

4 NÁVRH RACIONALIZACE VÝROBY

Tento projekt především poukazuje na možnosti, jimiž lze dosáhnout zvýšení ekonomie výroby neinvestiční cestou. Tímto má zároveň prospět současným potřebám a ukázat, jak využít takových faktorů rozvoje, které mohou přinést v každém podniku značný efekt. Stávající řešení obrábění součástkové základny je prováděno na jednom stroji a programováno v programu Edgecam [29, 30].

4.1 Adaptivní trochoidní frézování vs konvenční obrábění s použitím HPC strategie

HPC neboli vysoce výkonné obrábění, patří do skupiny inovačních metod obrábění, které vycházejí z technologie HSC, ale mají odlišné cíle. Hloubka řezu je cca 1,5xD. U HPC technologie již nejde jen o řeznou rychlost, ale především o výkon, tedy o požadavek velkého objemu obrobených třísek, který se vypočítá podle vztahu (4.1). Vyznačuje se ekologickými a ekonomickými přednostmi především v sériové výrobě, které však vyžadují dodržení několika předpokladů týkajících se soustavy stroj-nástroj-obrobek [8, 9].

Objem třísek za časovou jednotku Q [11]:

$$Q = \frac{a_p + a_e + v_f}{t_{co}} [\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.1)$$

kde: a_p [mm] - axiální hloubka řezu,
 a_e [mm] - radiální hloubka řezu,
 v_f [mm · min⁻¹] - posuvová rychlost.

Základním předpokladem pro úspěšnou aplikaci HPC technologie obrábění je možnost disponovat adekvátním a schopným strojním zařízením. Požadavky na stroje, které se kladou při aplikaci strategie HPC, jsou jedny z nejnáročnějších a do značné míry ovlivňují rentabilitu celé aplikace. Nejvíce sledované parametry jsou vždy posuvové rychlosti a maximální otáčky na hlavním vřetenu. Často se však v souvislosti s těmito hodnotami zapomíná na odpovídající velikosti zrychlení, neboť např. vysoké posuvové rychlosti neznamenají přínos, pokud nejsou spojeny s vysokým zrychlením ve všech osách řízeného pohybu. Dráhy, které nástroj během obráběcí operace urazí jsou často v řádu pouze několika milimetrů a poté opět prudce mění směr. Proto je důležité, jak rychle je stroj schopen opět dosáhnout požadované posuvové rychlosti. Podobně je možné uvažovat i o řezných rychlostech, kde však i při aplikaci plynulého řízení otáček v závislosti na poloze a orientaci nástroje vůči obráběnému povrchu nedochází k tak prudkým změnám jako u posuvů [8, 9].

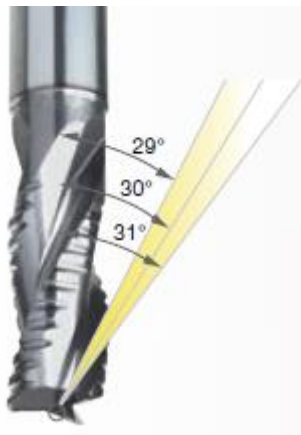
K frézování součástky Bonnet je použita HPC fréza ALU RF 100 A od firmy Gühring, která patří do skupiny vysokorychlostních fréz (Ratio frézy), které jsou uzpůsobené svou geometrií k dosahování vyšších řezných parametrů a to především [45]:

- rozdílné úhly šroubovice,
- nestejněměrné dělení břitů,
- micro - rohové sražení,
- optimalizovaný profil drážek.

Cílem je dosažení takového nástroje, který:

- nemá nežádoucí vibrace (vysoká procesní bezpečnost – vyšší životnost),
- využívá velkého rozsahu otáček (možnost pohybovat se ve větším rozsahu otáček),
- využívá vyšších řezných parametrů (strategie HPC, HSC a CAM – více odebraného materiálu, redukovaný čas obrábění).

Geometrie břitu má různé stoupání spirály (viz obr. 20), které tvoří nestejněměrné dělení břitů s aktivní účinnou hloubkou od $1 \times D$. Zesílená řezná hrana díky rohovému sražení a korekci ostří zvyšuje životnost díky sníženému tření, zvyšuje posuv díky lepší stabilitě a je vhodná při použití strategie „zanořování“. Profil WF, který tato fréza má je od výrobce doporučován pro nestabilní stroje. Nelze tuto frézu používat pro výpalky, kde je tvrdá kůra [45].



Obr. 20 Proměnlivé stoupání šroubovice HPC frézy ALU RF 100 A Ø12 mm [18].

Siluminy, které se vyskytují v hliníkových slitinách mají podstatný vliv na řeznou rychlost, která je až 4x vyšší, pokud siluminy nepřesáhnou 7 % hmotnosti. Přesáhne-li hmotnost siluminů 7 %, násobí se řezná rychlost 2x. Proti běžným monolitním frézám má tato fréza o 20 % vyšší posuv na zub. Při použití HPC strategie a periferního chlazení na výplach třísek je možné řeznou rychlost zvýšit až o 50 %. Doporučené hodnoty radiální a axiální hloubky řezu HPC frézy ALU RF 100 A Ø12 mm jsou uvedeny v tabulce 3 [45].

Tab. 3 Doporučené hodnoty hloubky řezu HPC frézy ALU RF 100 A Ø12 mm [18].

Aplikace	a_e [mm]	a_p [mm]	Korekce f_z [%]
Drážkování	$1,0 \times d$	$0,5 - 1,0 \times d$	$a_p = 2 \times d \Rightarrow f_z = -30 \%$
Hrubování	$0,5 - 0,9 \times d$	$0,5 - 1,0 \times d$	
HPC	$0,25 - 0,5 \times d$	$1,0 - 2,0 \times d$	$a_p = 1,0 - 2 \times d \Rightarrow f_z = +25 \%$

Především při frézování hliníku a jeho slitin jsou kladeny vysoké požadavky zpracovatelů na co největší úběr a objem obrobených třísek v nejkratším možném výrobním čase při optimální bezpečnosti a hospodárnosti celkového zpracování. Z tohoto důvodu je třeba dbát na přesných a dynamicky vyvážených upínacích řezných nástrojů. Mezi nejspolehlivější upínání s vysokou přesností patří například přesná kleštinová upínací pouzdra, vysokotlaká upínací pouzdra nebo polygonální upínání (viz obr. 21), které eliminuje vibrace díky přídavné tlumící vložce a zabráňuje mikro prasklinám na špičce nástroje, čímž zvyšuje životnost nástroje a výkon vřetena [8, 9, 10, 12].

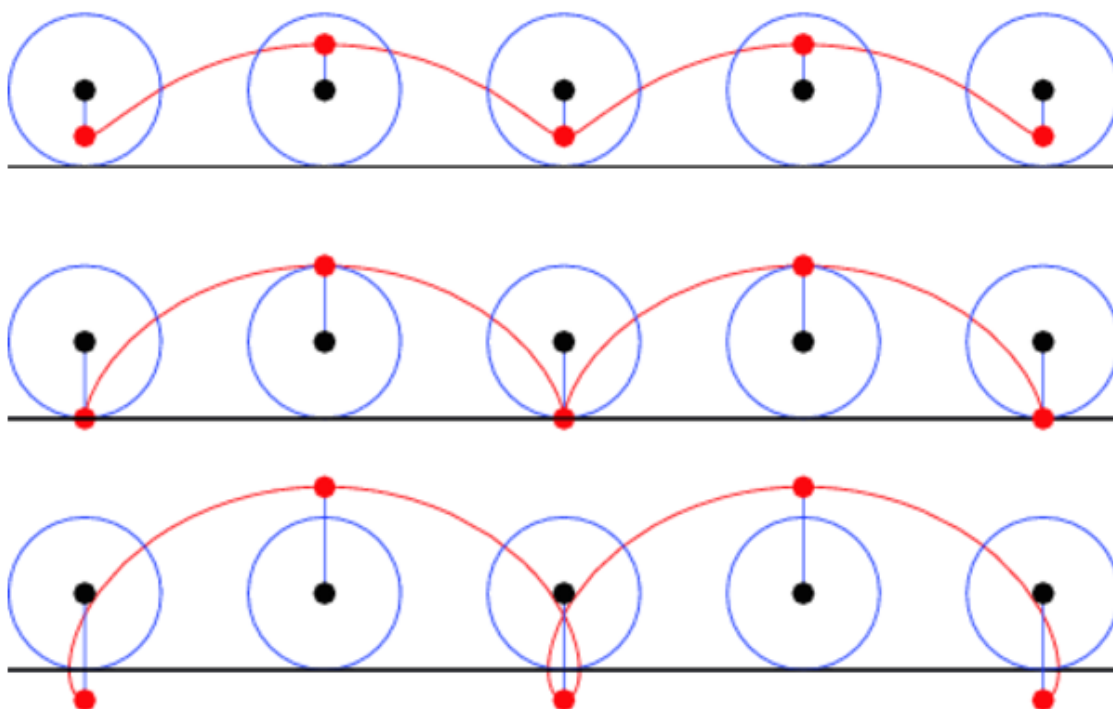


Obr. 21 Polygonální držák nástroje TRIBOS od firmy Shunk [10]. 1 - integrovaná měděná vložka; 2 - O-kroužek (tlumení vibrací); 3 - epoxidová pryskyřice; 4 - základní těleso.

Často je také používáno suché obrábění popř. tzv. kvazisuchého obrábění, kdy se využívá pouze velmi malé množství procesní kapaliny, která je buď pod velkým tlakem nebo ve formě mlhoviny přiváděna jen do úzce omezené oblasti okolo řezné hrany a čela břitu nástroje. Hlavním důvodem je ekologie, ochrana životního prostředí a lidského zdraví. Aplikace MMS (minimální množství kapaliny) nebo suché obrábění sice klade specifické nároky na stroj a jeho vybavení (odsávání, komplikovanější odstraňování třísek, dokonalejší kryty posuvových mechanismů), ale ekonomické a ekologické úspory zcela vykompenzují vícenásobky. Protože náklady na procesní kapaliny mohou u komplexnějších dílů tvořit 16-17 % ceny výrobních nákladů [8, 9].

Z pohledu obrobku hraje významnou roli poměr mezi vedlejšími a hlavními časy při obrábění. Ve většině případů platí, že čím je obráběný díl složitější a komplexnější, tím je větší podíl časů vedlejších. V takových případech je méně přínosné věnovat se růstu rezných podmínek (řezná rychlost, posuv, hloubka řezu) kde zkrácení hlavního strojního času o několik sekund si mnohdy vyžádá nerentabilní nárůst nákladů. Výraznějších úspor lze dosáhnout zásahem na straně vedlejších časů např. redukcí počtu výměn nástrojů nasazením sdružených kombinovaných nástrojů, optimalizací neaktivních drah nástrojů, víceobrobkové upínání, vícepaletová nebo dopravníková výměna obrobku atd. [8, 9].

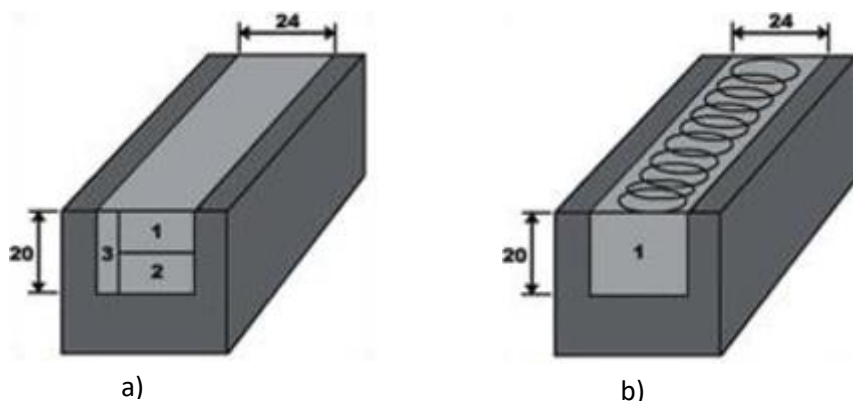
V dnešní době je optimalizace procesu na základě rychlejších obráběcích časů a delší životnosti obráběcích nástrojů pro většinu výrobních podniků klíčem k dosažení vyšší hospodárnosti. Jedno z možných řešení představuje inteligentní strategie adaptivního trochoidního obrábění pro proces frézování, který v rozích zaručuje konstantní velikost třísky a příznivé kinematické podmínky pro stroj. Trochoida je geometrická křivka kombinovaná rotačním a translačním pohybem. Je tvořena bodem na kruhu, jenž rotuje a jehož střed se zároveň pohybuje (viz obr. 22) [13, 15, 50].



Obr. 22 Trochoida [46].

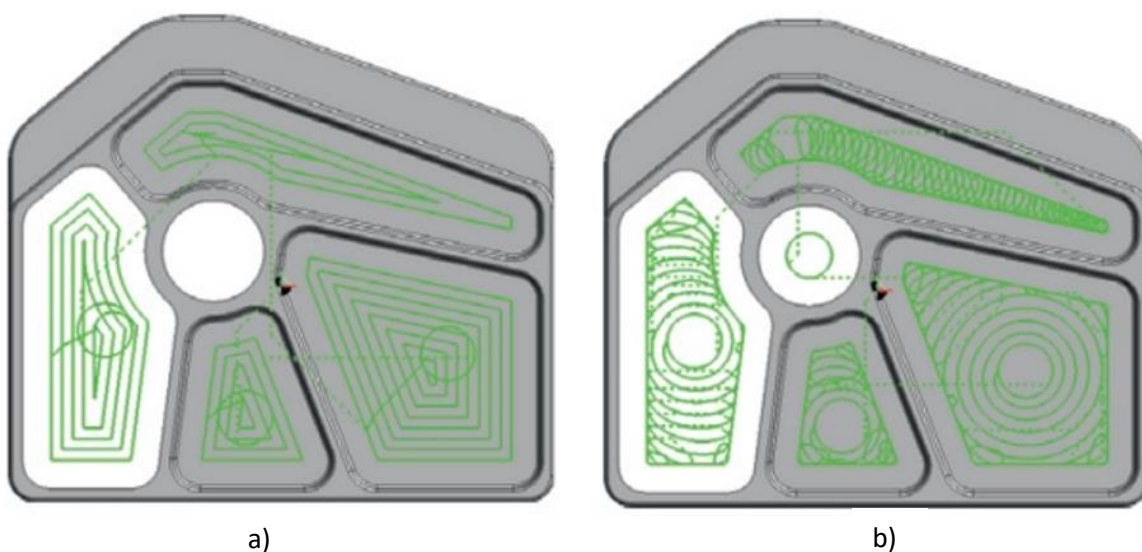
Konvenční frézování vypadá na první pohled jednodušeji, avšak problém u tohoto typu obrábění nastává v místech, kde se nástroj zafrézuje celým svým průměrem do rohu obráběné součástky, což způsobuje jeho přetěžování a následné snížení životnosti, popřípadě poškození nástroje. CAM program v tomto případě předpovídá řeznou sílu a optimalizuje řezné podmínky. Vyplývá to ze skutečnosti, že se při tomto frézování udržuje minimální úhel záběru, tzv. úhel opásání (úhel styku nástroje s obrobkem), a tím se redukuje chvění nástroje. Na vyšší otěruvzdornost má pozitivní vliv také zvětšující se oblast, v níž se může fréza opět ochlazovat. U strategie adaptivního trochoidního frézování se nástroj pohybuje tak, aby pracoval technologicky nejlepším možným způsobem, a pokud je to z geometrického hlediska nemožné, jsou řezné podmínky modifikovány tak, aby bylo

dosaženo maximální efektivity. Přednosti adaptivního trochoidního frézování jsou patrné zvláště tehdy, když je při obrábění nutné odebírat velký objem materiálu nebo frézovat hluboké drážky, popř. vysoké boky. Dráha nástroje je proti konvenčnímu obrábění větší, protože nástroj není po celou dobu obrábění v záběru. Tím se zvyšuje strojní čas, který však může být kompenzován kontinuálním obrobením. Například při frézování drážky (viz obr. 23), které by při konvenčním způsobu proti alternativě vyžadovalo více úběrů, než by byla drážka dokončena [13, 14, 15, 16].



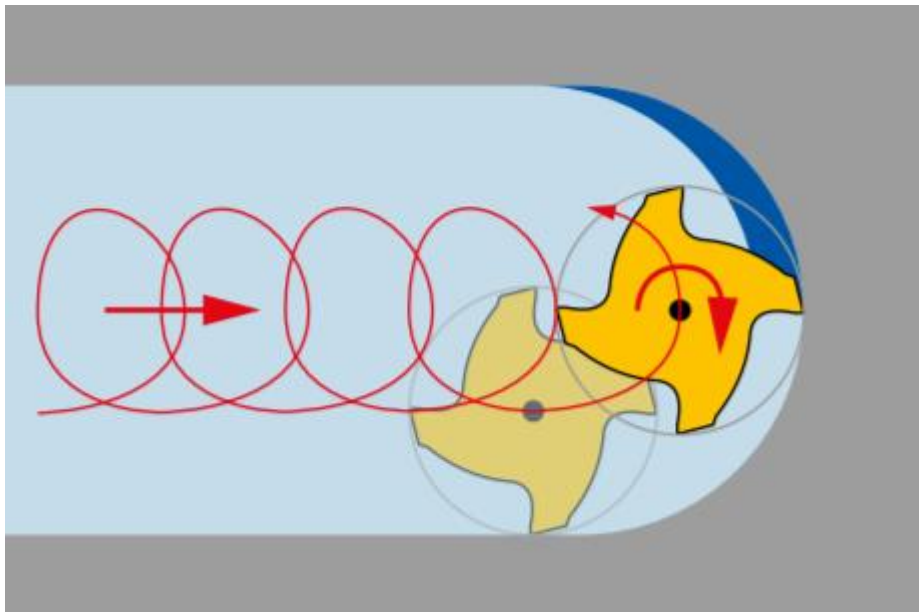
Obr. 23 Úběry materiálu v drážce [47]. a) konvenční frézování, b) trochoidní frézování.

Příkladem této strategie frézování je hrubovací strategie Waveform firmy Edgecam, které je použito k výrobě dílu v této práci. Vlnovité hrubování Waveform je technika rychlostního obrábění, které udržuje konstantní zatížení řezného nástroje. Dráha nástroje se pohybuje v plynulé dráze, aby se vyvaroval náhlých změn směru, což udržuje rychlost obráběcího nástroje. Při frézování kapes se nástroj zahlubí uprostřed do požadované hloubky a na rozdíl od konvenčního obrábění, které kopíruje konturu kapsy, hrubuje souvislou vlnovitou dráhou, až dokud není dosaženo okraje kapsy. Rozdíl těchto metod obrábění je vidět na obr. 24. Veškerý zbývající materiál v rozích je poté odstraněn trochoidním způsobem (viz obr. 25) [16].



Obr. 24 Strategie Waveform od firmy Edgecam [17]. a) konvenční obrábění (Koncentricky), b) adaptivní trochoidní frézování (Waveform).

Cyklus automaticky upravuje dráhu nástroje tak, aby zachoval konstantní styk nástroje s materiálem a tedy i úběr materiálu. Při frézování konkávní plochy cyklus upraví rozteč mezi drahami, při kterém se záběr nástroje zvyšuje a zároveň udrží požadované zatížení stroje. Při frézování konvexní plochy je tomu naopak. Při odfrézování materiálu se zvyšuje rozteč drah nástroje, aby byl zachován požadovaný záběr. Hrubování, při kterém nástroj využívá svou maximální řeznou délku tak rozkládá zatížení po celé délce nástroje, nikoliv pouze na špičku, jak je tomu u standardního hrubování. To má zásadní vliv na životnost nástroje. Radiální hloubka záběru je redukována z důvodu zajištění konstantních řezných podmínek a dobrého odvodu třísky ve které je tak odvedeno maximum tepla, čímž je prodloužena životnost nástroje [16].



Obr. 25 Trochoidní frézování [12].

4.1.1 Variantní řešení

Vzhledem k velmi náročným dodacím lhůtám je návrh variantních řešení typového představitele posuzován z hlediska úspory času, která je pro firmu a její strategii zásadní. Variantní řešení jsou co nejvíce přizpůsobeny možnostem firmy a odlišují se od sebe strategií obrábění, která je aplikována na nejvíce náročné hrubovací operace z hlediska času. Program Edgcam vygeneroval dva samostatné programy pro 1. a 2. polohu varianty A, a dva samostatné programy pro 1. a 2. polohu varianty B. Varianta C je kombinace časově nejvýhodnějších úseků strategií varianty A, a B.

Navrhované variantní řešení:

- Varianta A – konvenční HPC obrábění strategií Koncentricky.
- Varianta B – HPC obrábění strategií Waveform.
- Varianta C – kombinace časově nejvýhodnějších úseků strategií variant A, a B.

4.1.1.1 Popis operace s variantními řešeními

1. poloha

- Hrubování obvodu.

Polotovár o rozměrech 155 x 105 x 55 mm je upnut do univerzálního svěráku, vedle něj je poté do dalšího univerzálního svěráku upnut polotovár vyhotovený v první poloze. Tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø20 mm hrubuje obvod 150 x 100 mm do hloubky 42 mm s hloubkou řezu 21 mm a s přídavkem na dokončení 0,2 mm. Poté následuje dokončení obvodu stejnou frézou jako u hrubování.

- Vrtání odlehčení Ø7,8 mm.

Dalším úsekem je vrtání děr (4x) vrtákem ze slinutých karbidů Ø7,8 mm, sloužících jako odlehčení pro rádius R4. Je to vzhledem k tomu, aby se předešlo velkému úběru materiálu nástrojem, který bude hrubovat daný rádius. Tento nástroj má velké vyložení a hrozí vibrace nástroje, které mohou mít za následek programové snížení rezných rychlostí.

- Hrubování horní plochy.

Následuje hrubování horní plochy tříbřitou HPC frézou ze slinutých karbidů Ø12 mm. U varianty A, má fréza maximální hloubku řezu 5 mm, překrytí nástroje je 95 % a posuvová rychlost $1611 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Naopak varianta B je rozdílná v tom, že používá překrytí nástroje 30 % a posuvovou rychlost $3600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Obě varianty počítají s přídavkem na dokončení 0,2 mm.

- Hrubování kapsy.

K úseku hrubování kapsy, je použita stejná fréza, jako v předcházejícím úseku. Pro frézování do hloubky slouží u obou variant cyklus spirálového zanořování (v programu Edgcam tzv. helix). Varianta A má hloubku řezu 12 mm, překrytí nástroje 95 % a posuvovou rychlost $1611 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Varianta B má hloubku řezu 17,5 mm, překrytí nástroje 30 % a posuvovou rychlost $3600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Obě varianty počítají s přídavkem na dokončení 0,2 mm.

- Drážky (3x).

Následující úsek je frézování drážek (3x) tříbřitou frézou ze slinutých karbidů Ø8 mm. Po spirálovém zanořování o hloubce řezu 1 mm kopíruje nástroj konturu drážky až do hloubky 3,5 mm.

- Dokončení horní plochy.

Poté tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø20 mm dokončí horní plochu.

- Rádius R3.

Dvoubřitá stopková fréza s rádiusem R3 ze slinutých karbidů Ø20 mm frézuje rádius R3 na horní ploše na 2 hloubky řezu. První hloubka řezu je 2,9 mm a druhá dokončuje tvar o hloubce řezu 0,1 mm.

- Otvor Ø25±0,05 mm.

Následuje předvrtání Ø25±0,05 mm vrtákem s VBD ze slinutých karbidů Ø14 mm. Poté tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø12 mm dokončí spirálovým zanořováním o hloubce řezu 1 mm otvor Ø25±0,05 mm.

- Dokončení dna kapsy.

Tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø12 mm dokončí dno kapsy s přídavkem 1 mm od stěny, a to vzhledem k rádiusu R1, který leží mezi dnem a stěnou součástky Bonnet.

- Dokončení rádiusu R1 v kapse.

Následně tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø12 mm dokončí rádiusu R1 mezi dnem a stěnou součástky Bonnet.

- Dokončení rohů s rádiusem R4 (4x) v kapse.

Tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø6 mm s vyložením 31 mm dokončuje (4x) rohy kapsy s rádiusem R4. Tato fréza však obrábí pouze do hloubky 25 mm, hloubce řezu 5 mm a posuvové rychlosti $1500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Je to z důvodu dosažení co největší hloubky s frézou, která má menší vyložení, aby nedocházelo k vibracím nástroje (viz obr. 26). Tříbřitá stopková fréza s rádiusem R1 ze slinutých karbidů Ø6 mm s vyložením 41 mm dokončuje (4x) rohy kapsy s rádiusem R4 do hloubky 40 mm, hloubce řezu 3 mm a posuvové rychlosti $1300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

- Vybrání po obvodě.

Následuje hrubování bočních vybrání (3x) tříbřitou stopkovou HPC frézou ze slinutých karbidů Ø12 mm. U varianty A je hloubka řezu 9 mm a frézuje celým průměrem při posuvové rychlosti $1611 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Varianta B má hloubku řezu 19 mm, překrytí nástroje 30 % a posuvovou rychlost $3600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Obě varianty nechávají přídavek 0,2 mm na stěnu a 2 mm na dno z důvodu rádiusu R2. Poté tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø12 mm s rádiusem R2 dokončuje (3x) boční vybrání s rádiusem R2. Nejprve dokončuje boky vybrání poté dno vybrání s rádiusem R2, a nakonec sražení $3 \times 45^\circ$.

2.poloha

- Hrubování horní plochy.

Druhá poloha pokračuje hrubováním horní plochy tříbřitou stopkovou HPC frézou ze slinutých karbidů Ø12 mm. U varianty A, je překrytí nástroje 95 % a posuvová rychlost $1611 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Naopak varianta B je rozdílná v tom, že má překrytí nástroje 30 % a posuvovou rychlost $3600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Obě varianty mají hloubku řezu 5 mm a počítají s přídavkem na dokončení 0,2 mm.

- Vybrání $110 \times 80 \text{ mm} + \text{sražení } 3 \times 45^\circ$.

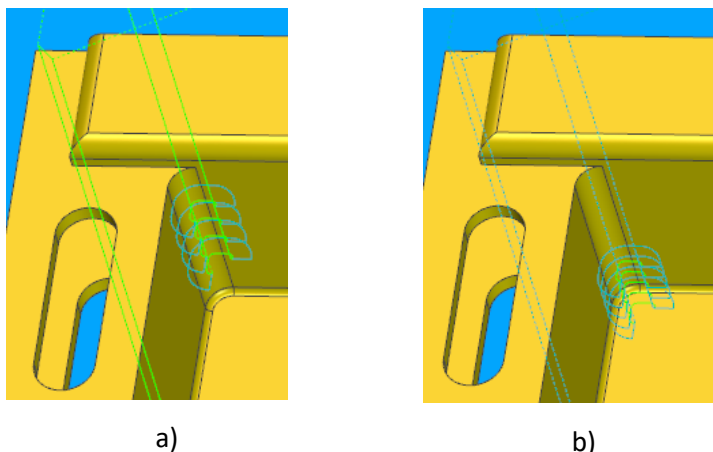
Poté následuje hrubování vybrání $110 \times 80 \text{ mm}$ a sražení $3 \times 45^\circ$ tříbřitou stopkovou HPC frézou ze slinutých karbidů Ø12 mm. U varianty A, je překrytí nástroje 95 % a posuvová rychlost $1611 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Naopak varianta B je rozdílná v tom, že používá překrytí nástroje 30 % a posuvovou rychlost $3600 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Obě varianty mají hloubku řezu 13,5 mm a počítají s přídavkem na dokončení 0,2 mm. Poté tříbřitá stopková fréza ze slinutých karbidů Ø20 mm dokončí horní plochu, sražení $3 \times 45^\circ$ a boční vybrání $110 \times 80 \text{ mm}$ s přídavkem 2 mm z důvodu rádiusu R2.

- Dokončení vybrání $110 \times 80 \text{ mm}$ s rádiusem R2.

Následně tříbřitá stopková fréza s rádiusem R2 ze slinutých karbidů Ø12 mm dokončuje stěnu vybrání 110×80 s rádiusem R2.

- Drážky (3x).

Posledním úsekem operace je frézování drážek (3x) tříbřitou frézou ze slinutých karbidů Ø8 mm. Nástroj po spirálovém zanořování o hloubce řezu 1 mm kopíruje konturu drážky až do hloubky 3,5 mm.



Obr. 26 Dráha nástroje. a) fréza Ø6 mm s vyložení 31 mm; b) fréza Ø6 mm s vyložení 41 mm.

4.1.2 Hodnocení variant

Při porovnání adaptivního trochoidního obrábění s konvenčním obráběním (viz tab. 4 a 5), kde zeleně označená okénka jsou výhodnější jednotkové strojní časy, proti variantnímu řešení, je dosaženo závěru, že ne vždy je z pohledu času výhodnější alternativní technicky inovativní technologie v podobě adaptivního trochoidního obrábění. S pěti úseky, na které je toto porovnání aplikováno vyšlo adaptivní trochoidní obrábění s lepším časem pouze u úseku kapsy. Je to dáno komplexností a rozměry obráběné součástky, kde převažují vedlejší časy. Varianta C je složena z nejvýhodnějších časových úseků variant A, a B.

Tab. 4 Strojní časy 1. poloha.

1. poloha - hrubování	t_{AS}^A [min]	t_{AS}^B [min]	t_{AS}^C [min]
Horní plocha	0,92	1,47	0,92
Kapsa	1,82	1,63	1,63
Vybrání po obvodě	1,18	1,28	1,18
Σ	3,92	4,38	3,73

Tab. 5 Strojní časy 2. poloha.

2. poloha - hrubování	t_{AS}^A [min]	t_{AS}^B [min]	t_{AS}^C [min]
Horní plocha	1,03	1,58	1,03
Vybrání 110x80	0,78	0,80	0,80
Σ	1,81	2,66	1,81

4.2 Organizace a význam VSO

VSO je velmi významný způsob organizace práce v převážně automatických procesech. Podstata VSO spočívá v tom, že na pracovišti s několika automatizovanými stroji je přidělen jeden nebo několik pracovníků, přičemž počet strojů je vždy větší než počet obsluhujících pracovníků. Hlavní význam je ve zvýšení produktivity práce. Obsluha dvou strojů jedním pracovníkem zvyšuje produktivitu práce téměř dvojnásobně, obsluha tří strojů téměř trojnásobně atd. Neplatí však, že s rostoucím počtem strojů roste produktivita práce neomezeně. Při vyšším počtu strojů narůstají časy na jejich využití a důsledkem je zpomalení nebo zastavení růstu produktivity práce. Nejehospodárnější počet obsluhovaných strojů je takový, při němž užitek z růstu produktivity práce není znehodnocen ztrátou výrobnosti strojů. Hlavní problém vyřešení VSO je tedy určit nejehospodárnější počet obsluhovaných strojů. K tomu potřebujeme znát, jak se s počtem strojů mění časy čekání na obsluhu, a to časy čekání strojů na jedné straně a časy čekání pracovníků na straně druhé. Proto klíčovým problémem řešení hospodárné organizace VSO je stanovení velikosti času čekání [4].

Nejčastěji se VSO zavádí u operací s pravidelným cyklem obsluhy, kde mohou nastat následující varianty [2]:

- časy cyklu operace a zaměstnanosti pracovníka jsou stejné,
- časy cyklu operace jsou různé, ale časy zaměstnanosti pracovníka jsou stejné,
- časy cyklu operace jsou stejné, ale časy zaměstnanosti pracovníka jsou různé,
- časy cyklu operace a zaměstnanosti pracovníka jsou různé.

Vzhledem k tomu, že se jedná o výrobu jednoho typu součástky na totožných strojích je k výpočtu VSO použita varianta kde čas cyklu operace a zaměstnanosti pracovníka je stejný.

4.2.1 Identifikace času obsluhy jednoho stroje

Pro variantu, kde čas cyklu operace a zaměstnanosti pracovníka je stejný jsou dle normativů použity hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Hodnoty z normativů [38].

Časy pro obsluhu jednoho stroje		
Čas jednotkové práce za klidu stroje	t_{A11}	0,2 min
Čas jednotkové práce za chodu stroje	t_{A12}	4,2 min
Čas jednotkové práce strojně-ruční	t_{A13}	0 min
Čas nepravidelné obsluhy	t_{AX}	2,25 %
Čas jednotkových podmíněně nutných přestávek za chodu stroje	t_{A32}	12,07 min
Časy stroje		
Jednotkový čas klidu stroje	t_{mA5}	0,3 min
Jednotkový čas chodu stroje	t_{mA4}	16,27 min
Jednotkový čas interference při obsluze jednoho stroje	t_{mA6}	0 min

Čas nepravidelné obsluhy t_{AX} podle vztahu (2.3).

$$t_{AX} = \frac{t_{AX} \text{ za směnu}}{t_{ASsm} + t_{A13}} = \frac{8}{355 + 0} = 2,25 \%$$

Čas jednotkové práce t_{A1} podle vztahu (2.2).

$$t_{A1} = (t_{A11} + t_{A12} + t_{A13}) \cdot t_{AX} = (0,2 + 4,2 + 0) \cdot 1,0225 = 4,5 \text{ min}$$

Čas jednotkových obecně nutných přestávek t_{A2} podle vztahu (2.4).

$$t_{A2} = t_{A201} = t_{A211} + t_{A221} = 0 + 0 = 0 \text{ min}$$

Čas jednotkový podmíněčně nutných přestávek t_{A3} podle vztahu (2.5).

$$t_{A3} = t_{A31} + t_{A32} = 0 + 12,07 = 12,07 \text{ min}$$

Čas jednotkový t_A podle vztahu (2.1).

$$t_A = t_{A1} + t_{A2} + t_{A3} = 4,5 + 0 + 12,07 = 16,57 \text{ min}$$

Čas cyklu operace při obsluze jednoho stroje t_{co} [1]:

$$t_{co} = t_A = t_{A1} + t_{A32} \text{ [min]} \quad (4.2)$$

$$t_{co} = 4,5 + 12,07 = 16,57 \text{ min}$$

Uzavřený sled činností realizovaný na daném stroji se nazývá cyklus stroje t_{cs} [1]:

$$t_{cs} = t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6} \text{ [min]} \quad (4.3)$$

$$t_{cs} = 0,3 + 16,27 + 0 = 16,57 \text{ min}$$

Při obsluze jednoho stroje je $t_{mA6} = 0$.

Čas zaměstnanosti pracovníka t_z [1]:

$$t_z = t_{A1} \text{ [min]} \quad (4.4)$$

$$t_z = 4,5 \text{ min}$$

Součinitel zaměstnanosti pracovníka k_z [1]:

$$k_z = \frac{t_z}{t_{co}} [-] \quad (4.5)$$

$$k_z = \frac{4,5}{16,57} = 0,27$$

Při obsluze jednoho stroje jedním pracovníkem bude $k_z \leq 1$.

4.2.2 Teoretický počet obsluhovaných strojů

Teoretický počet obsluhovaných strojů m_t [1]:

$$m_t = \frac{t_{co}}{t_z} [-] \quad (4.6)$$

$$m_t = \frac{16,57}{4,5} = 3,68$$

kde: t_{co} [min] - čas cyklu operace při obsluze jednoho stroje,
 t_z [min] - čas zaměstnanosti pracovníka při obsluze jednoho stroje.

Pokud je dosazeno do rovnice (4.6) dostaneme rovnici [2]:

$$m_t = \frac{1}{k_{zi}} [-] \quad (4.7)$$

Vztah (4.6) musí splňovat podmínky [1]:

$$m_t \geq 1 \quad (4.8)$$

$$3,68 \geq 1$$

$$t_{co} \geq t_z \quad (4.9)$$

$$16,57 \geq 4,5$$

Hodnota m_t velmi často nabývá čísla s desetinným místem, zatímco skutečný počet obsluhovaných strojů m musí být číslo celé [1].

4.2.3 Systém VSO

Výchozí úvahy [1]:

- stroje v systému VSO se označí m , které nabývá hodnot (1, 2, ... i),
- v systému VSO jsou časy zaměstnanosti pracovníka t_z , časy cyklu operace t_{co} , časy cyklu stroje t_{cs} , součinitele zaměstnanosti pracovníka k_z a součinitele využití stroje k_{vs} pro jednotlivé stroje zařazené do systému VSO stejné.

Proto platí že [1]:

$$t_{z1} = t_{z2} = \dots t_{zi} \dots = t_{zm} = t_z \quad (4.10)$$

$$t_{co1} = t_{co2} = \dots t_{coi} \dots = t_{com} = t_{co} \quad (4.11)$$

$$t_{cs1} = t_{cs2} = \dots t_{csi} \dots = t_{csm} = t_{cs} \quad (4.12)$$

$$k_{z1} = k_{z2} = \dots k_{zi} \dots = k_{zm} = k_z \quad (4.13)$$

$$k_{vs1} = k_{vs2} = \dots k_{vsi} \dots = k_{vsm} = k_{vs} \quad (4.14)$$

Čas zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů t_{zm} [1]:

$$t_{zm} = m \cdot t_z \text{ [min]} \quad (4.15)$$

kde: t_z [min] - čas zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.

Čas zaměstnanosti pracovníka při obsluze 3 strojů t_{z3} podle vztahu (4.15).

$$t_{z3} = 3 \cdot 4,5 = 13,5 \text{ min}$$

Čas zaměstnanosti pracovníka při obsluze 4 strojů t_{z4} podle vztahu (4.15).

$$t_{z4} = 4 \cdot 4,5 = 18 \text{ min}$$

Čas cyklu operace při obsluze m strojů t_{com} [1]:

$$t_{com} = t_{zm} = m \cdot t_z \text{ [min]} \quad (4.16)$$

Čas cyklu operace při obsluze 3 strojů t_{co3} podle vztahu (4.16).

$$t_{co3} = 13,5 \text{ min}$$

Čas cyklu operace při obsluze 4 strojů t_{co4} podle vztahu (4.16).

$$t_{co4} = 18 \text{ min}$$

Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů k_{zm} [1]:

$$k_{zm} = m \cdot k_z \text{ [min]} \quad (4.17)$$

kde: k_z [-] - součinitel zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.

Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze 3 strojů k_{z3} podle vztahu (4.17).

$$k_{z3} = 3 \cdot 0,27 = 0,81 \text{ min}$$

Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze 4 strojů k_{z4} podle vztahu (4.17).

$$k_{z4} = 4 \cdot 0,27 = 1,08 \text{ min}$$

Z obecného hlediska bude součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů nabývat hodnot [1]:

$$k_{zm} \leq 1 \quad (4.18)$$

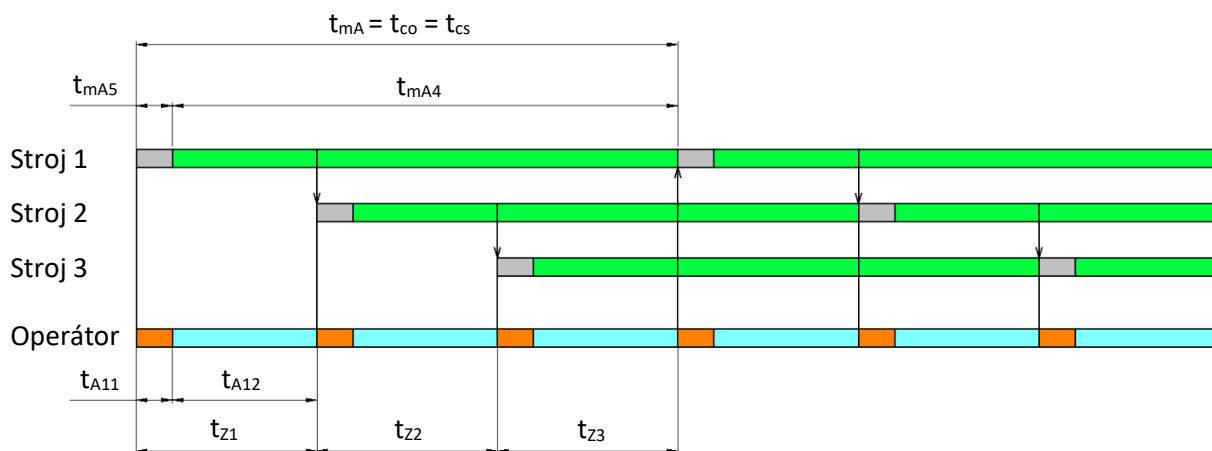
Pokud bude $k_{zm} > 1$, i poté je dosazováno $k_{zm} = 1$, je tedy počítáno s plným využitím zaměstnanosti pracovníka. Pokud v systému VSO dojde k této situaci, kdy stroj „čeká“ na obsluhu bude se realizovat čas interference stroje t_{mA6} [1].

Při VSO mohou nastat tři případy [1]:

- $k_{zm} = 1$, je to veškerý čas, který dělník potřebuje k obsluze strojů, se překrývá automatickým strojním časem, cyklus operace bude stejný jako čas cyklu stroje $t_{co} = t_{cs}$. Pracovník bude plně zaměstnán a stroje budou plně využity (viz obr. 27).
- $k_{zm} < 1$, dělník není plně zaměstnán a čeká na ukončení automatického chodu stroje (viz obr. 28),
- $k_{zm} > 1$, stroj čeká na obsluhu dělníka, obsluha strojů je delší než automatický chod stroje (viz obr. 29) .

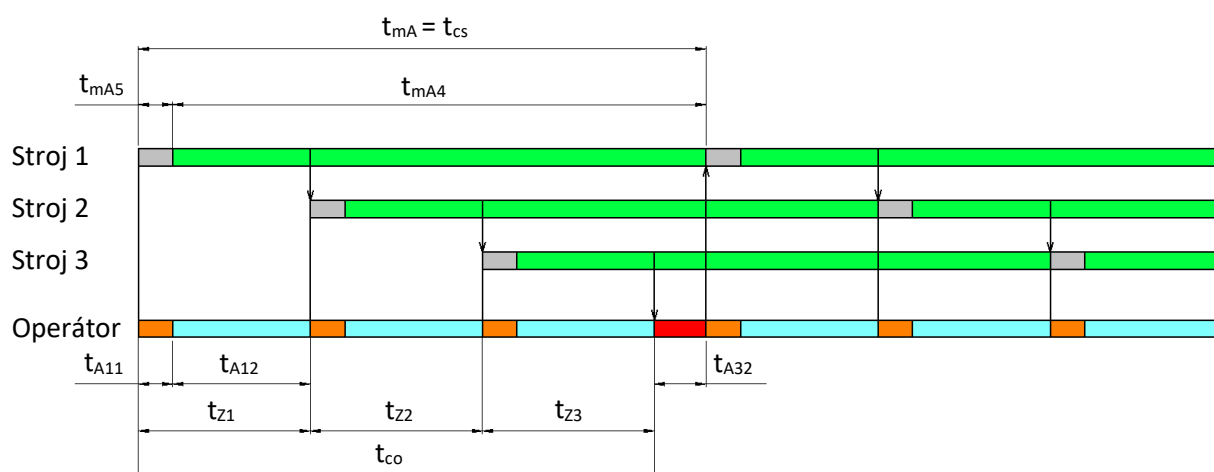
Dle výpočtu k_{z3} a k_{z4} není počítáno s metodou kdy $k_{zm} = 1$.

Grafické znázornění pro plné vytížení operátora a stroje kde $t_{co} = t_{cs}$ (viz obr. 27) [2].



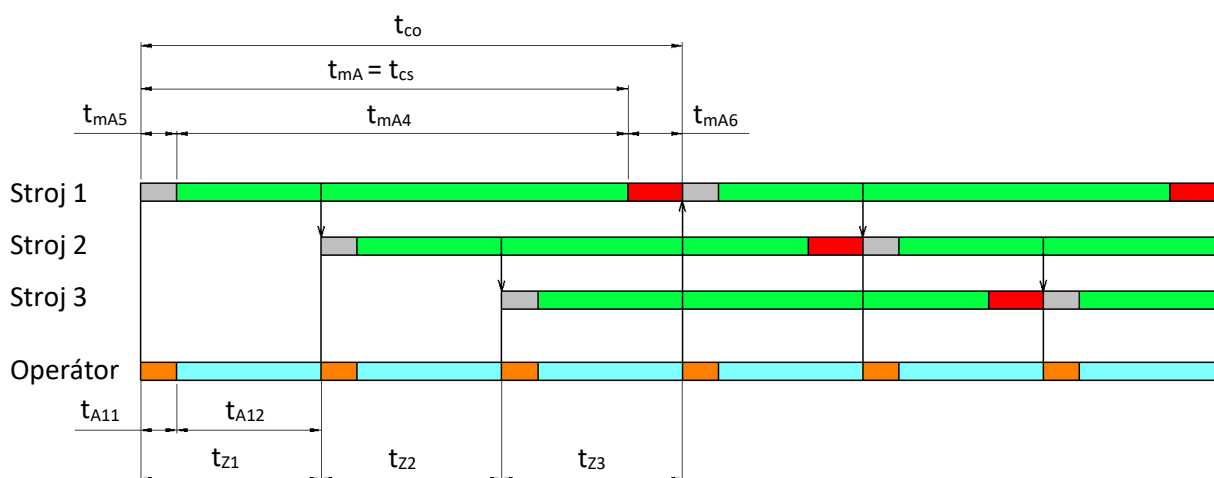
Obr. 27 VSO pro $m = 2 = m_i$ [5].

Grafické znázornění poměrů pro pracovníka, který čeká na ukončení pracovního cyklu stroje kde $t_{co} < t_{cs}$ (viz obr. 28) [2].



Obr. 28 VSO pro $m = 3 < m_t$ [5].

Grafické znázornění poměrů pro stroj, který čeká na příchod obsluhujícího pracovníka $t_{co} > t_{cs}$ (viz obr. 29) [2].



Obr. 29 VSO pro $m = 3 > m_t$ [5].

4.2.4 Využití stroje

Čas využití stroje t_{vs} [1]:

$$t_{vs} = t_{mA5} + t_{mA4} \text{ [min]} \quad (4.19)$$

$$t_{vs} = 0,3 + 16,27 = 16,57 \text{ min}$$

Součinitel využití stroje při obsluze m strojů k_{vsm} [1]:

$$k_{vsm} = \frac{t_{vs}}{t_{mA}} = \frac{t_{mA5} + t_{mA4}}{t_{mA5} + t_{mA4} + t_{mA6}} [-] \quad (4.20)$$

Součinitel využití stroje při obsluze 3 strojů k_{vs3} podle vztahu (4.20).

$$k_{vs3} = \frac{16,57}{16,57} = 1$$

Při obsluze jednoho stroje je $t_{mA6} = 0$ z toho vyplívá $k_{vs3} = 1$.

Součinitel využití stroje při obsluze 4 strojů k_{vs4} podle vztahu (4.20).

$$k_{vs4} = \frac{18}{16,57} = 0,92$$

4.2.5 Počet obsluhovaných strojů je menší, jako teoretický $m < m_t$

- Počet obsluhovaných strojů je nejbližší nižší celé číslo k teoretickému počtu m_t .
- Pracovník bude určitou dobu čekat na dokončení pracovního cyklu stroje.
- Součinitel využití stroje $k_{vs3} = 1$ a součinitel zaměstnanosti pracovníka $k_{z3} < 1$.
- Čas cyklu operace je v tomto případě menší než čas cyklu stroje $t_{co3} = t_{co3} < t_{cs}$.

Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů k_{zm} [1]:

$$k_{z3} < 1 \quad (4.21)$$

$$0,81 < 1$$

Součinitel využití strojů při obsluze 3 strojů k_{vsm} [1]:

$$k_{vs3} = 1 \quad (4.22)$$

$$1 = 1$$

Cyklus operace bude stejný jako čas cyklu stroje [1]:

$$t_{co} = t_{cs} \quad (4.23)$$

$$16,57 = 16,57$$

Čas cyklu operace je menší než čas cyklu stroje [1]:

$$t_{co3} = t_{co3} < t_{cs} \quad (4.24)$$

$$t_{co3} = 13,5 < 16,57$$

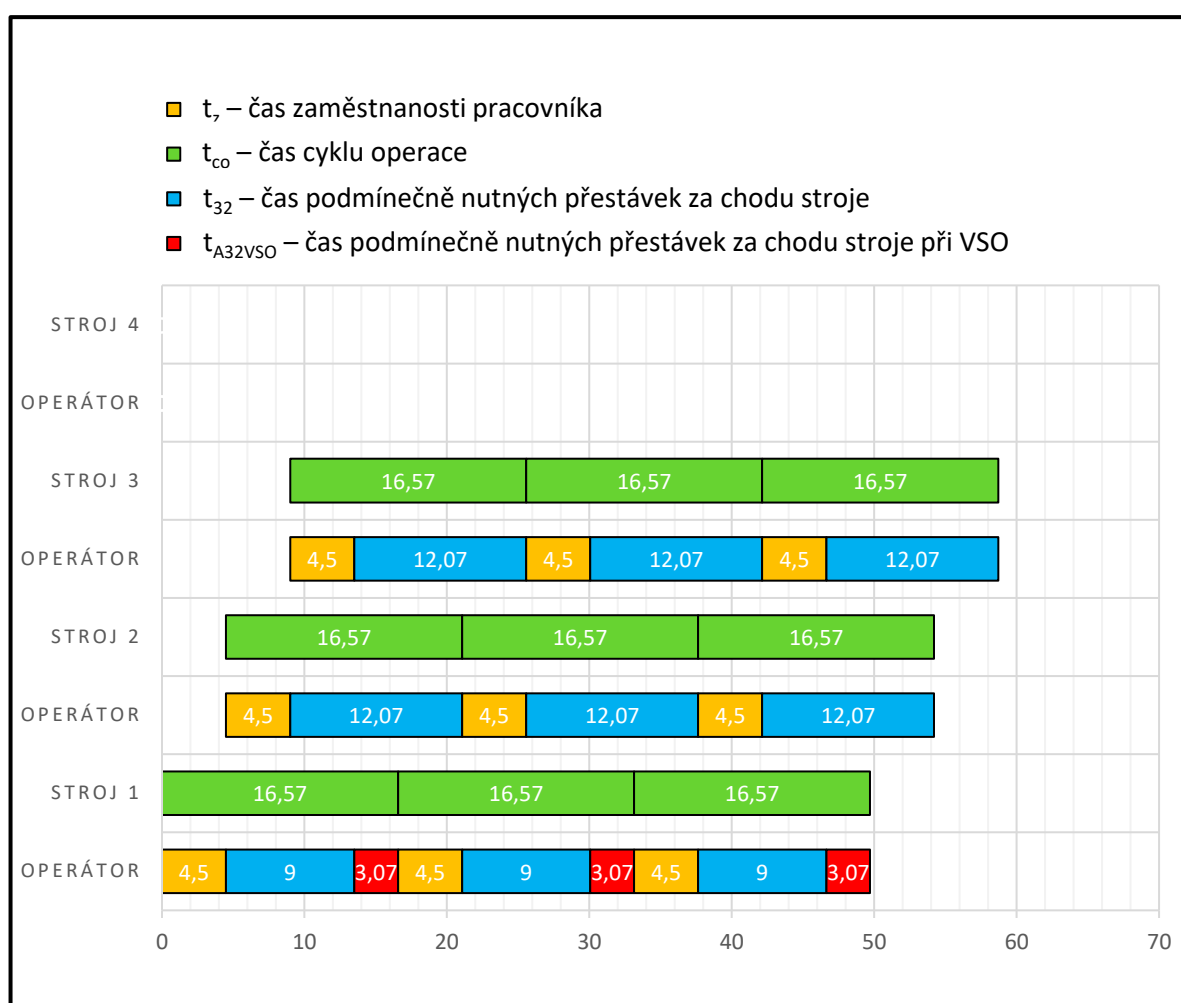
Čas čekání pracovníka na konec cyklu stroje při VSO t_{A32VSO} [1]:

$$t_{A32VSO} = t_{cs} - m \cdot t_z \quad (4.25)$$

$$t_{A32VSO} = 16,57 - 13,5 = 3,07 \text{ min}$$

kde: t_{cs} [min] - čas cyklu stroje,
 t_z [min] - čas zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.

Grafické znázornění varianty $m < m_t \Rightarrow m = 3$ je znázorněno na obrázku 30.



Obr. 30 $m < m_t \Rightarrow m = 3$.

4.2.6 Počet obsluhovaných strojů větší, jako teoretický $m > m_t$

- Počet obsluhovaných strojů je nejbližší vyšší celé číslo k teoretickému počtu m_t .
- Stroj bude určitou dobu čekat na příchod obsluhujícího pracovníka.
- Součinitel využití stroje $k_{vs4} < 1$ a součinitel zaměstnanosti pracovníka $k_{z4} = 1$.
- Čas cyklu operace je v tomto případě větší než čas cyklu stroje $t_{co4} = t_{co4} > t_{cs}$.

Součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze 4 strojů k_{zm} [1]:

$$k_{z4} = 1 \quad (4.26)$$

$$1 = 1$$

Součinitel využití strojů při obsluze 4 strojů k_{vsm} [1]:

$$k_{vs4} < 1 \quad (4.27)$$

$$0,92 < 1$$

Cyklus operace bude stejný jako čas cyklu stroje podle vztahu (4.23) [1]:

$$t_{co} = t_{cs}$$

$$16,57 = 16,57$$

Čas cyklu operace je větší než čas cyklu stroje [1]:

$$t_{co4} = t_{co2} > t_{cs} \quad (4.28)$$

$$t_{co4} = 18 > 16,57$$

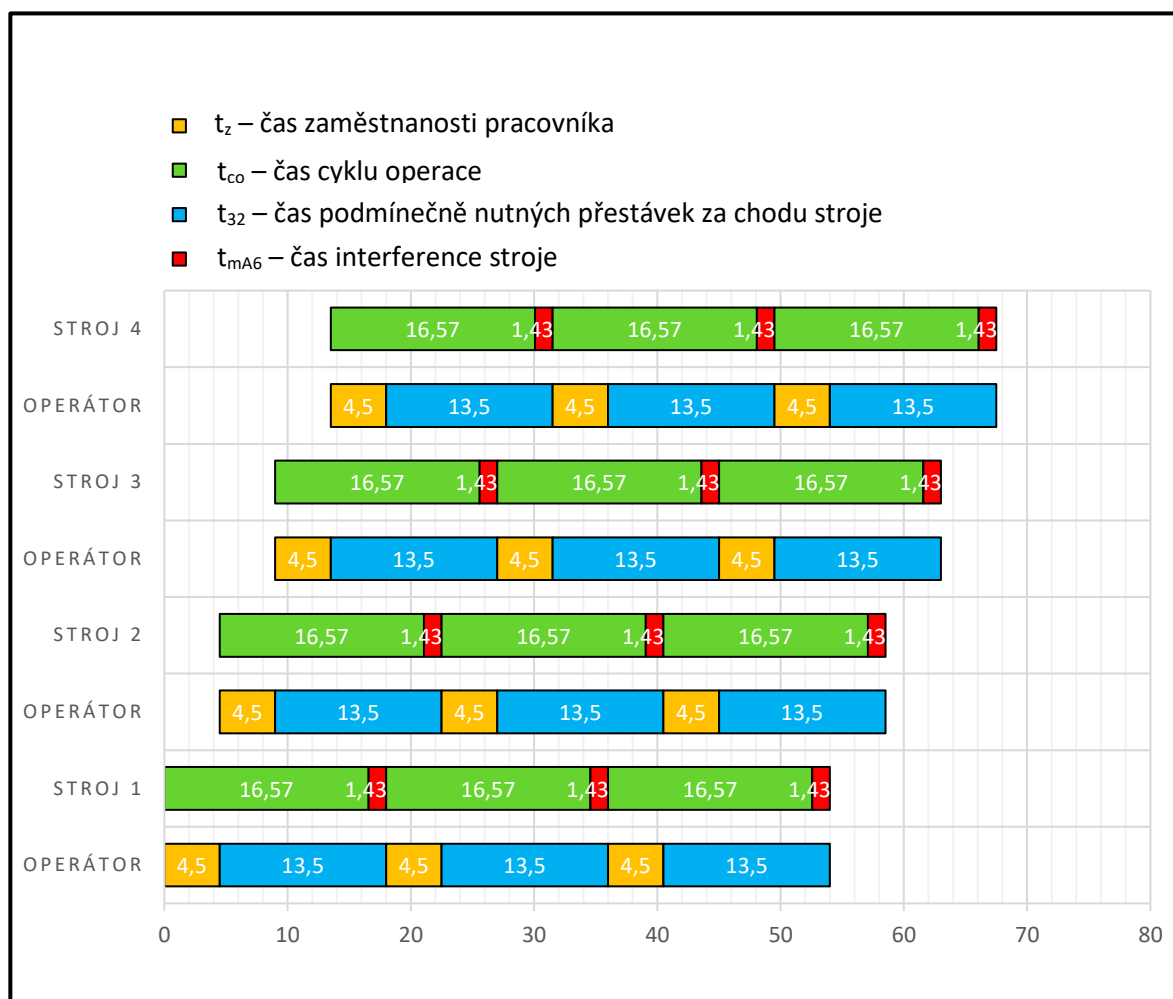
Čas interference stroje t_{mA6} [1]:

$$t_{mA6} = m \cdot t_z - t_{cs} \text{ [min]} \quad (4.29)$$

$$t_{mA6} = 4 \cdot 4,5 - 16,57 = 1,43 \text{ min}$$

kde: m [-] - počet obsluhovaných strojů,
 t_z [min] - čas zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje,
 t_{cs} [min] - čas cyklu stroje.

Grafické znázornění varianty $m > m_t \Rightarrow m = 4$ je znázorněno na obrázku 31.



Obr. 31 $m > m_t \Rightarrow m = 4$.

5 TECHNOLOGICKÁ PŘÍPRAVA VÝROBY

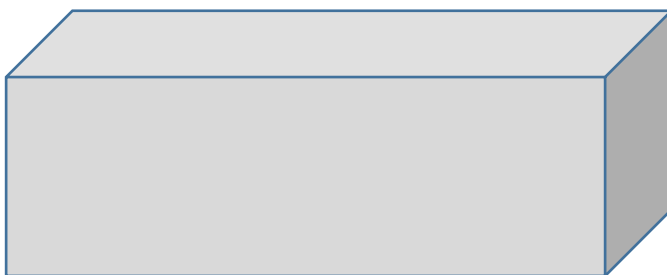
Technologická příprava výroby je jedna z hlavních činností v podniku, která zajišťuje vlastní výrobu. Základní činností je hledání optimálních podmínek z hlediska konstrukce výrobku, technologických metod, úrovně výrobních zařízení, vybavení, automatizace, struktury a úrovně celého výrobního systému. Je zde vyžadována úzká spolupráce konstruktéra a technologa [1, 2, 5].

Hlavní úkoly technologické přípravy výroby [2]:

- zpracování konstrukčně technologických rozborů,
- výběr vhodných polotovarů,
- určení počtu a pořadí technologických etap,
- výběr vhodných výrobních strojů, nástrojů, přípravků, pomůcek, měřidel apod.,
- výpočet technicko-ekonomických údajů,
- konstrukční a technologická příprava,
- zpracování a evidence změnového řízení,
- kompletace, evidence a archivace výrobní dokumentace.

5.1 Polotovar

Polotovar je z materiálu EN-AW 7075 T651, který je řezán kotoučovou pilou z tabule o rozměrech 2000 x 1500 x 55 mm. Výsledný tvar polotovaru (viz obr. 32) je krychle o rozměrech 155 x 105 x 55 mm. Řezání materiálu je prováděno v kooperaci s firmou, která tento materiál dodává, a to z důvodu absence kotoučové pily.



Obr. 32 Polotovar součástky.

5.2 Stroj

Firma využívá širokou škálu strojního vybavení. Obráběcí centrum HERMLE C400U, je však pro výrobu součástky Bonnet nejvhodnější, a to hlavně z hlediska jejich počtu. Firma má k dispozici ve svém strojovém parku těchto obráběcích center 6. Je to výhoda pro VSO, kde vzájemná zaměnitelnost strojů v návaznosti na jejich dynamiku nebude mít dopad na jejich strojní čas.

HERMLE C 400U je dynamické, přesné a spolehlivé 5-ti osé obráběcí centrum, které nabízí vysokou přesnost a optimální povrch při velkých objemech třískového obrábění. Lože stroje z odlitku svou odolností vůči vibracím zajišťuje potřebnou statickou stabilitu a má velký pracovní prostor v poměru k instalační ploše. Může se ergonomicky přizpůsobit každému operátorovi stroje, pro obsluhu je tak zajištěn lepší komfort. Velikost, výkon, technologické možnosti a velké množství funkcí umožňuje hospodárnou výrobu součástky. Technická data stroje HERMLE C400U jsou uvedeny v tabulce 7 [19].

Tab. 7 Obráběcí centrum HERMLE C400U [19].



HERMLE C400U

Řídicí systém	Heidenhain TNC 640
Maximální otáčky vřetene	18 000 rpm
Výkon vřetene	20 kW
Točivý moment	180 kN
Maximální pojezd stolu (X/Y/Z)	850/700/500 mm
Maximální průměr obrobku	650 mm
Rychloposuv	35 m/min
Zrychlení	6 m/s
Příkon	34 kVA
Počet nástrojů v zásobníku	38

5.3 Technologický postup

V zájmu trvalé kvality a funkční spolehlivosti výrobků, je nutné dodržet při výrobě určité podmínky a způsoby provedení prací. Zejména při uplatňování výsledků technického rozvoje v praxi nabývá na významu plná informovanost pracovníků ve výrobě, a proto firma vydává pro bezprostřední potřebu řízení výroby závazné předpisy technologického charakteru zvané technologické potupy [39].

Výroba součástky se rozděluje do operací. Operace je taková část prací, která se provádí na jednom stroji při jednom upnutí. Pro počet a rozsah operací neexistuje univerzální pravidlo, ale volba závisí na řadě faktorů, které se vzájemně ovlivňují [40].

Ovlivňující faktory [40]:

- tvar, přesnost a kvalita ploch,
- sériovost,
- předpokládaná technologie,
- stroj.

Obecně také platí, že při každém novém upnutí zvyšuje nebezpečí vzniku chyb a časového prodlení. Je tedy potřeba minimalizovat počet operací. Pokud však požadovaná přesnost není vysoká, může být naopak výhodné rozdělit výrobu na více jednoduchých operací snížit tak počet výměn nástrojů a změn řezných podmínek, tedy i vedlejších časů [40].

Také by mělo být zajištěno, že plochy, které mají předepsané geometrické tolerance (souosost, kolmost, rovnoběžnost) budou obráběny při jednom upnutí, i za cenu jedné operace navíc. Upnutí za neopracovaný povrch by mělo být v postupu pouze jednou na začátku. Každé další upnutí musí být za povrch obrobený, jinak hrozí vznik velmi závažných chyb vzájemné polohy ploch. Technologický postup pro součástku Bonnet je uveden v tabulce 8 [40].

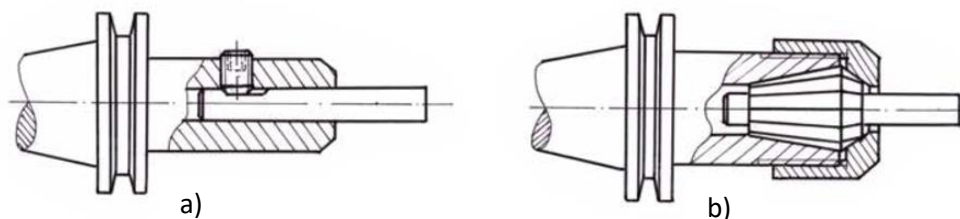
Tab. 8 Technologický postup [22].

Technologický postup		Materiál: EN-AW 7075 T651	Polotovár: 155 x 105 x 55 mm	Zpracoval: Bc. Lukáš Bartl	
Datum: 25. 1. 2017		Název součásti: Bonnet		Číslo listu: 1	
Číslo operace	Dílna	Stroj, třídící číslo	Popis práce	Nástroj	
1/1	Kooperace	Kooperace	Řezat přesný přířez 155x105x55.	T1	
2/2	OTK	Kontrola 09863	Kontrola rozměrů polotovaru.	M1	
3/3	Obrobna	HERMLE C400U 45233	Frézovat 1. polohu.	-	
			Frézovat – hrubovat obvod 150x100x50 s přídavkem 0,2.	T1	
			Frézovat – dokončit obvod 150x100x50.	T1	
			Vrtat odlehčení Ø7,8 mm pro R4.	T2	
			Frézovat – hrubovat horní plochy 41,5 a 36,5 s přídavkem 0,2.	T3	
			Frézovat – hrubovat kapsu 100x54,1 s přídavkem 0,2 do hloubky 39.	T3	
			Frézovat – dokončit (3x) drážku 35x10.	T4	
			Frézovat – dokončit horní plochy 41,5 a 36,5.	T1	
			Frézovat – dokončit R3.	T5	
			Vrtat díru pro Ø25±0,05.	T6	
			Frézovat – dokončit Ø25±0,05.	T7	
			Frézovat – dokončit dno kapsy 100x54,1x40.	T7	
			Frézovat – dokončit obvod kapsy 100x54,1x40 s R1.	T8	
			Frézovat – dokončit R4 v kapse 100x54,1x40 do hloubky 26.	T9	
			Frézovat – dokončit R4 v kapse 100x54,1x40.	T10	
			Frézovat – hrubovat boční vybrání s přídavkem 0,2 na stěnu a 2 na hloubku.	T3	
			Frézovat – dokončit boční vybrání s R2.	T11	

Technologický postup		Materiál: EN-AW 7075 T651	Polotovár: 155 x 105 x 55 mm	Zpracoval: Bc. Lukáš Bartl
Datum: 25. 1. 2017		Název součásti: Bonnet		Číslo listu: 2
Číslo operace	Dílna	Stroj, třídící číslo	Popis práce	Nástroj
3/3	Obrobna	HERMLE C400U 45233	Frézovat 2. polohu.	-
			Frézovat – hrubovat horní plochu 41,5 s přídavkem 0,2.	T3
			Frézovat – hrubovat 110x80x13,5 + sražení 3x45° s přídavkem 0,2.	T3
			Frézovat – dokončit horní plochu 41,5.	T1
			Frézovat – dokončit hloubku 13,5.	T1
			Frézovat – dokončit sražení 3x45°.	T1
			Frézovat – dokončit 110x80x13,5 s R2.	T11
			Frézovat – dokončit (3x) drážku 35x10.	T4
4/4	OTK	Kontrola 09863	Kontrola rozměrů dle výkresové dokumentace.	M1- M7
			Zhotovit protokol	
			Kontrolovat každý 5. kus.	
5/5	Expedice	Balení 09913	Balení	-
			Expedice	

Technologický postup musí obsahovat také výrobní prostředky, tj. přípravky, nástroje a měřidla (viz tab. 9). Pokud je to možné jsou voleny nástroje standardní, hromadně vyráběné, které jsou cenově výhodnější. Pokud to není možné je volena výroba speciálního nástroje [39, 40].

Pro upínání nástrojů je voleno ve většině případů Weldon dle DIN 6535 HB nebo kleštinový upínač (viz obr. 33). Upínače typu Weldon využívají k přenosu kroutícího momentu princip upnutí pomocí šroubů, dosedajících kolmo na plochu vyfrézovanou do stopky nástroje rovnoběžně s osou nástroje. Jejich výhodou je jednoduchost i malá cena, nevýhodou nutnost užít pro každý průměr stopky nástroje jiný upínač a vysoké házení upnutého nástroje, které činí 15–20 μm . Z principu upnutí, kde nástroj je odtlačován upínacím šroubem mimo osu rotace souvisí odolnost proti vibracím, která není vysoká, neboť pevné upnutí je až v místě kontaktu upínacího šroubu se stopkou nástroje, tedy daleko od čela upínače. Kleštinové upínače běžně vykazují stejné nebo nepatrně lepší házení, které se dá výrazně zlepšit dle provedení a přesnosti kleštinového upínače. Pro obrábění frézou typu HPC je použit hydraulický upínač s velmi vysokou upínací silou, která dosahuje při upínání 500 barů a při odepínání 800 barů. Tento upínač se vyznačuje velmi dobrým tlumením vibrací, a dosahuje hodnot házení $\leq 3 \mu\text{m}$ [40].



Obr. 33 Nástrojové upínače [40]. a) Weldon DIN 6535 HB, b) kleštinový upínač.

Tab. 9 Nástrojový list s doporučenými řeznými podmínkami [12, 18].

Označení nástroje	Obrázek nástroje	Označení nástroje (břitové destičky)*	Materiál nástroje povlak	Katalogové číslo	v_c [m·min ⁻¹]
					f_z [mm]
T1		Stopková fréza Ø20	SK	6702 20	600
					0,12
T2		Vrták Ø7,8	SK Ti700	10 731 078	180
					0,17
T3		Stopková fréza Ø12	SK	3469 12	600
					0,07
T4		Stopková fréza Ø8	SK	6702 08	600
					0,055
T5		Stopková fréza Ø12 R3	SK	053084-12-R3	380
					0,08
T6		VBD	SK	4114 - 14	300
		Držák VBD	NO	4108 - 14	0,3
T7		Stopková fréza Ø12	SK	6702 12	600
					0,085
T8		Stopková fréza Ø12 R1	SK	3599 – 12.010	600
					0,085
T9		Stopková fréza Ø6 R1	SK	3599 – 6.010	600
					0,04
T10		Stopková fréza Ø6 R1	SK	3599 – 6.010	600
					0,04
T11		Stopková fréza Ø12 R2	SK	3599 – 12.020	600
					0,085

5.4 Upínání

První poloha součástky Bonnet je upnuta do přesného strojního svěráku Makro-Grip 125 od firmy Lang (viz obr. 34). Tento svěrák je vhodný pro náročné upínací úkony a díky kompaktní konstrukci pro 5-ti osé stroje má ideální dostupnost k obrobku. Upínání je pomocí kliky a dvou pohyblivých čelistí, které součástku centricky upínají maximální upínací silou 20 kN s přesností $\pm 0,02$ mm [43, 44].

Druhá poloha součástky Bonnet je upnuta do přesného strojního svěráku VHO-6 od firmy Vertex (viz obr. 35). Upínání je zajištěno pomocí ruční kliky a hydraulického multiplikačního posilovače, který nejdříve přisouvá pohyblivou čelist mechanicky pohybovým šroubem. Když čelist narazí do upínané součástky a zvýší se odpor na klice, dojde k protočení zubové spojky a zapne se hydraulický posilovač. Dalším otáčením kliky se zvyšuje tlak v hydraulické komoře a ten přitlačuje pohyblivou čelist na upnutý díl. Při utažení je čelist vždy tlačena do dna svěráku (nezvedá obrobek) tlakem v rozmezí 5-40 kN [42].



Obr. 34 Svěrák Makro-Grip 125 [44].



Obr. 35 VHO-6 [42].

5.5 Měření

Z pohledu kvality je podstatné, že první vyrobené kusy podléhají 100% kontrole, která je prováděna na 3D měřicích strojích od firmy Zeiss (viz obr. 36). Toto měření vysokou měrou eliminuje možnost výroby neshodných kusů. Při následujících měřeních, které jsou prováděna obsluhou stroje jsou použita standardní měřidla (viz tab. 10).



Obr. 36 Zeiss Contura G2 [41].

Tab. 10 Použitá měřidla [20, 21, 23, 24, 25].

Označení měřidla	Obrázek nástroje	Název	Výrobce	Katalogové číslo
M1		Digitální posuvné měřítko 200	Mitutoyo	500-182-30
M2		Digitální posuvné měřítko 150	Mitutoyo	500-181-30
M3		Drsnoměr SJ410	Mitutoyo	178-580-01D
M4		Třídotekový dutinoměr	Mitutoyo	368-767
M5		Hloubkoměr 200	Holex	F418000
M6		Šablona poloměrová 1-7	Kinex	1140
M7		Šablona poloměrová 7,5-15	Kinex	1141

5.6 Operační návodka

Operační návodka by měla popisovat operace s uvedením úseků a úkonů, výrobního zařízení, technologických podmínek, použitých nástrojů, a nářadí pro upínání a měření. Dle předchozích výpočtů a z normativů jsou použity hodnoty k výpočtu technologických podmínek, které jsou uvedeny v tabulce 11. Operační návodka úseku frézování otvoru $\varnothing 25 \pm 0,05$ mm je uvedena v tabulce 12. Ostatní úseky jsou uvedeny v přílohách 2-11.

Tab. 11 Hodnoty z normativů [38].

Časy pro obsluhu jednoho stroje		
Čas pracovníka ve směně	T	510 min
Čas směnový, svačina, úklid, převzetí práce	T_C	60 min
Čas jednotkové práce	t_A	16,57 min
Čas dávkové práce	t_B	120 min

Přirážka směnového času k_C podle vztahu (2.28).

$$k_C = \frac{T}{T - T_C} = \frac{510}{510 - 60} = 1,13 \%$$

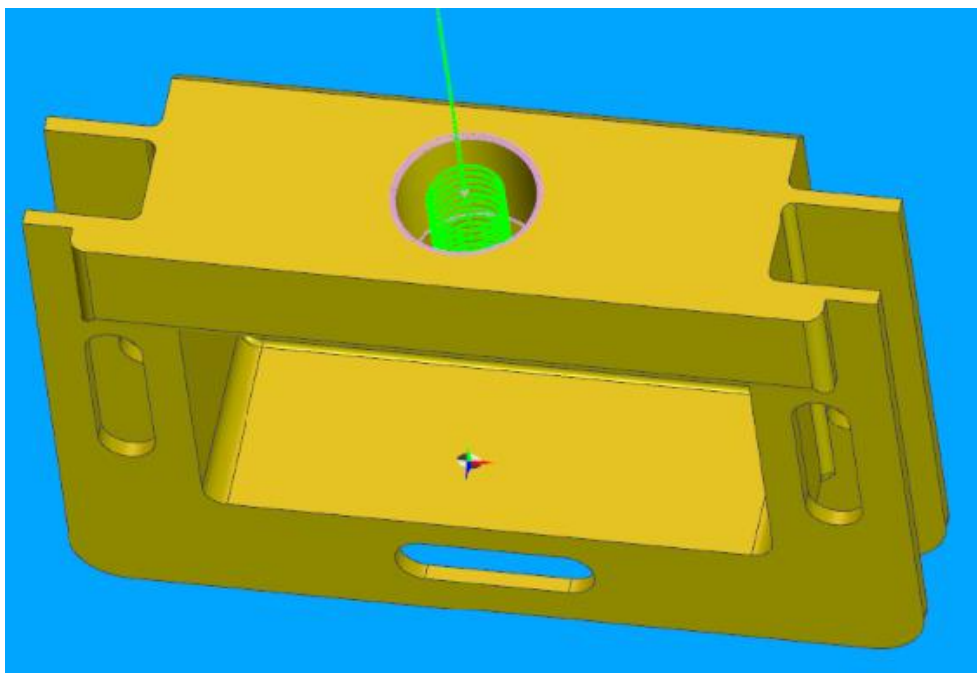
Jednotkový čas s přirážkou času směnového t_{AC} podle vztahu (2.25).

$$t_{AC} = t_A \cdot k_C = 16,57 \cdot 1,0113 = 16,76 \text{ min}$$

Dávkový čas s přirážkou času směnového t_{BC} podle vztahu (2.26).

$$t_{BC} = t_B \cdot k_C = 120 \cdot 1,0113 = 121,36 \text{ min}$$

OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Pro výpočet technicko-ekonomického vyhodnocení je z normativů a předešlých výpočtů sestavena tabulka 13.

Tab. 13 Vstupní hodnoty [38].

Časy pro obsluhu jednoho stroje		
Čas cyklu operace při obsluze jednoho stroje	t_{co}	16,57 min
Součinitel využití stroje při obsluze 3 strojů	k_{vs3}	1
Součinitel využití stroje při obsluze 4 strojů	k_{vs4}	0,92
Počet strojů	m	1, 2, 3
Čas jednotkový s přírážkou času směnového	t_{AC}	16,76 min
Čas dávkový s přírážkou času směnového	t_{BC}	121,36 min
Roční série	s	4000 ks
Výrobní dávka	d_v	1, 50, 100 ks
Mzdový tarif na jednu hodinu práce operátora	M_{tAC}	120 Kč
Mzdový tarif na jednu hodinu práce seřizovače	M_{tBC}	210 Kč
Náklady na jednu hodinu práce stroje	N_{hs}	800 Kč
Režie	R_s	750 %

6.1 Technologické parametry systému VSO a stávající metody s jedním strojem

Teoretický počet obsluhovaných strojů m_t je obvykle desetinné číslo a skutečný počet strojů m se volí na základě dalších rozborů. Proto je vhodné využít některé technologické parametry, které usnadní rozhodnutí, zda volit $m < m_t$ nebo $m > m_t$ [1].

Patří k nim [1]:

- součinitel VSO,
- počet kusů obrobených za jednotku času,
- náklady na obrobek jednoho kusu.

Součinitel VSO při dávce Q kusů a obsluze m strojů k_{voQ_m} [1]:

$$k_{voQ_m} = \frac{d_v \cdot t_{AC} + t_{BC}}{d_v \cdot \frac{1}{m} \cdot t_{AC} + m \cdot t_{BC}} [-] \quad (6.1)$$

kde: t_{AC} [min] - jednotkový strojní čas s přírážkou času směnového,
 t_{BC} [min] - dávkový čas s přírážkou času směnového,
 d_v [ks] - výrobní dávka,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.

Hodnoty t_{AC} a t_{BC} se vztahují k obsluze jednoho stroje.

Součinitel VSO k_{vo50_3} při dávce 50 kusů a obsluze 3 strojů podle vztahu (6.1).

$$k_{vo50_3} = \frac{50 \cdot 16,76 + 121,36}{50 \cdot \frac{1}{3} \cdot 16,76 + 3 \cdot 121,36} = 1,49$$

Součinitel VSO k_{vo100_3} při dávce 100 kusů a obsluze 3 strojů podle vztahu (6.1).

$$k_{vo100_3} = \frac{100 \cdot 16,76 + 121,36}{100 \cdot \frac{1}{3} \cdot 16,76 + 3 \cdot 121,36} = 1,95$$

Součinitel VSO k_{vo50_4} při dávce 50 kusů a obsluze 4 strojů podle vztahu (6.1).

$$k_{vo50_4} = \frac{50 \cdot 16,76 + 121,36}{50 \cdot \frac{1}{4} \cdot 16,76 + 4 \cdot 121,36} = 1,38$$

Součinitel VSO k_{vo100_4} při dávce 100 kusů a obsluze 4 strojů podle vztahu (6.1).

$$k_{vo100_4} = \frac{100 \cdot 16,76 + 121,36}{100 \cdot \frac{1}{4} \cdot 16,76 + 4 \cdot 121,36} = 1,99$$

Počet kusů obrobených za jednotku času při obsluze m strojů n_{km} [1]:

$$n_{km} = \frac{60}{t_{co}} \cdot k_{vsm} \cdot m [\text{ks}] \quad (6.2)$$

kde: t_{co} [min] - čas cyklu operace,
 k_{vsm} [-] - součinitel využití stroje při obsluze m strojů,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.

Počet kusů obrobených za jednotku času n_{k1} při obsluze 1 stroje podle vztahu (6.2).

$$n_{k1} = \frac{60}{16,57} \cdot 1 \cdot 1 = 3,62 = 3 \text{ ks}$$

Počet kusů obrobených za jednotku času při n_{k3} obsluze 3 strojů podle vztahu (6.2).

$$n_{k3} = \frac{60}{16,57} \cdot 1 \cdot 3 = 10,86 = 10 \text{ ks}$$

Počet kusů obrobených za jednotku času při n_{k4} obsluze 4 strojů podle vztahu (6.2).

$$n_{k4} = \frac{60}{16,57} \cdot 0,92 \cdot 4 = 13,33 = 13 \text{ ks}$$

Náklady na obrobění jednoho kusu, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce N_{zQ_m} při obsluze m strojů [1]:

$$N_{zQ_m} = N_{mAC} + N_{psAC} \text{ [Kč]} \quad (6.3)$$

kde: N_{mAC} [Kč] - náklady na mzdy na obrobění jednoho kusu vztažené k času t_{AC} ,
 N_{psAC} [Kč] - náklady na provoz stroje na obrobění jednoho kusu vztažené k času t_{AC} .

Náklady na mzdy na obrobění jednoho kusu N_{mAC} , vztažené k času t_{AC} [1]:

$$N_{mAC} = \frac{t_{AC}}{k_{vsm}} \cdot \left[\frac{M_{tAC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{100} \right) \cdot \frac{1}{m} \right] \text{ [Kč]} \quad (6.4)$$

Náklady na provoz stroje na obrobění jednoho kusu N_{psAC} , vztažené k času t_{AC} [1]:

$$N_{psAC} = \frac{t_{AC}}{k_{vsm}} \cdot \frac{N_{hs}}{60} \text{ [Kč]} \quad (6.5)$$

Po dosazení do (6.3) [1]:

$$N_{zQ_m} = \frac{t_{AC}}{k_{vsm}} \cdot \left[\frac{M_{tAC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{100} \right) \cdot \frac{1}{m} + \frac{N_{hs}}{60} \right] \text{ [Kč]} \quad (6.6)$$

kde: t_{AC} [min] - jednotkový strojní čas s přírážkou času směnového,
 k_{vsm} [-] - součinitel využití stroje při obsluze m strojů,
 M_{tAC} [Kč] - mzdový tarif na jednu hodinu práce vztažený k času t_{AC} ,
 R_s [%] - režie,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů,
 N_{hs} [Kč] - náklady na jednu hodinu provozu stroje.

Náklady na obrobení jednoho kusu v systému VSO, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce N_{z1_1} a počtu strojů 1 podle vztahu (6.6).

$$N_{z1_1} = \frac{16,76}{1} \cdot \left[\frac{210}{60} \cdot \left(1 + \frac{750}{100} \right) \cdot \frac{1}{1} + \frac{800}{60} \right] = 722,08 \text{ Kč}$$

Náklady na obrobení jednoho kusu v systému VSO, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce N_{z1_3} a počtu strojů 3 podle vztahu (6.6).

$$N_{z1_3} = \frac{16,76}{1} \cdot \left[\frac{120}{60} \cdot \left(1 + \frac{750}{100} \right) \cdot \frac{1}{3} + \frac{800}{60} \right] = 318,44 \text{ Kč}$$

Náklady na obrobení jednoho kusu v systému VSO, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce N_{z1_4} a počtu strojů 4 podle vztahu (6.6).

$$N_{z1_4} = \frac{16,76}{0,92} \cdot \left[\frac{120}{60} \cdot \left(1 + \frac{750}{100} \right) \cdot \frac{1}{4} + \frac{800}{60} \right] = 320,13 \text{ Kč}$$

Náklady na obrobení jednoho kusu, nezávislé na počtu kusů ve výrobní dávce N_{nQ} [1]:

$$N_{nQ} = N_{mBC} + N_{psBC} \text{ [Kč]} \quad (6.7)$$

kde: N_{mBC} [Kč] - náklady na mzdy na obrobení jednoho kusu vztažený k času t_{BC} ,

N_{psBC} [Kč] - náklady na provoz stroje na obrobení jednoho kusu vztažený k času t_{BC} .

Náklady na mzdy na obrobení jednoho kusu N_{mBC} , vztažené k času t_{BC} [1]:

$$N_{mBC} = t_{BC} \cdot \left[\frac{M_{tBC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{100} \right) \cdot \frac{1}{m} \right] \text{ [Kč]} \quad (6.8)$$

Náklady na provoz stroje na obrobení jednoho kusu N_{psBC} , vztažené k času t_{BC} [1]:

$$N_{psBC} = t_{BC} \cdot \frac{N_{hs}}{60} \text{ [Kč]} \quad (6.9)$$

Po dosazení do (6.7) [1]:

$$N_{nQ} = t_{BC} \cdot \left[\frac{M_{tBC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R_s}{100} \right) \cdot \frac{1}{m} + \frac{N_{hs}}{60} \right] \text{ [Kč]} \quad (6.10)$$

$$N_{n1} = 121,86 \cdot \left[\frac{210}{60} \cdot \left(1 + \frac{750}{100} \right) + \frac{800}{60} \right] = 5250,14 \text{ Kč}$$

- kde: t_{BC} [min] - dávkový čas s přírážkou času směnového,
 k_{vs} [-] - součinitel využití stroje,
 M_{tBC} [Kč] - mzdový tarif na jednu hodinu práce vztažený k času t_{BC} ,
 R_s [%] - režie,
 m [-] - počet obsluhovaných strojů.
 N_{hs} [Kč] - náklady na jednu hodinu provozu stroje.

Operační náklady na výrobu jednoho kusu N_{opQ_m} závislé na výrobní dávce a počtu strojů m [1]:

$$N_{opQ_m} = \frac{(N_{zQ_m} \cdot d_v + N_{nQ})}{d_v} \text{ [Kč]} \quad (6.11)$$

- kde: N_{zQ_m} [Kč] - náklady na obrobení jednoho kusu, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce při počtu strojů m ,
 N_{nQ} [Kč] - náklady na obrobení jednoho kusu, nezávislé na počtu kusů ve výrobní dávce,
 d_v [ks] - výrobní dávka,

Operační náklady na výrobu jednoho kusu N_{op1_1} a počtu strojů 1 podle vztahu (6.11).

$$N_{op1_1} = \frac{(722,08 \cdot 1 + 5250,14)}{1} = 5972,22 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 50 ks, stávající metodou N_{op50_1} a počtu strojů 1 podle vztahu (6.11).

$$N_{op50_1} = \frac{(722,08 \cdot 50 + 5250,14)}{50} = 827,08 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 100 ks, stávající metodou N_{op100_1} a počtu strojů 1 podle vztahu (6.11).

$$N_{op100_1} = \frac{(722,08 \cdot 100 + 5250,14)}{100} = 774,58 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 50 ks, v systému VSO N_{op50_3} a počtu strojů 3 podle vztahu (6.11).

$$N_{op50_3} = \frac{(318,44 \cdot 50 + 5250,14)}{50} = 423,44 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 100 ks, v systému VSO N_{op100_3} a počtu strojů 3 podle vztahu (6.11).

$$N_{op100_3} = \frac{(318,44 \cdot 100 + 5250,14)}{100} = 370,94 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 50 ks, v systému VSO N_{op50_4} a počtu strojů 4 podle vztahu (6.11).

$$N_{op50_4} = \frac{(320,13 \cdot 50 + 5250,14)}{50} = 425,13 \text{ Kč}$$

Operační náklady na výrobu při dávce 100 ks, v systému VSO N_{op100_4} a počtu strojů 4 podle vztahu (6.11).

$$N_{op100_4} = \frac{(320,13 \cdot 100 + 5250,14)}{100} = 372,63 \text{ Kč}$$

Celkové operační náklady na roční sérii N_{100_m} při výrobní dávce 100 kusů a počtu strojů m :

$$N_{100_m} = s \cdot N_{op100_m} [\text{Kč}] \quad (6.12)$$

kde: s [ks] - roční série,

N_{op100_m} [Kč] - operační náklady na výrobu jednoho kusu při výrobní dávce 100 kusů.

Celkové operační náklady na roční sérii N_{100_1} při výrobní dávce 100 ks a počtu strojů 1 podle vztahu (6.12).

$$N_{100_1} = 4000 \cdot 774,58 = 3\,098\,320 \text{ Kč}$$

Celkové operační náklady na roční sérii N_{100_3} při výrobní dávce 100 ks a počtu strojů 3 podle vztahu (6.12).

$$N_{100_3} = 4000 \cdot 370,94 = 1\,483\,760 \text{ Kč}$$

Celkové operační náklady na roční sérii N_{100_4} při výrobní dávce 100 ks a počtu strojů 4 podle vztahu (6.12).

$$N_{100_4} = 4000 \cdot 372,63 = 1\,490\,520 \text{ Kč}$$

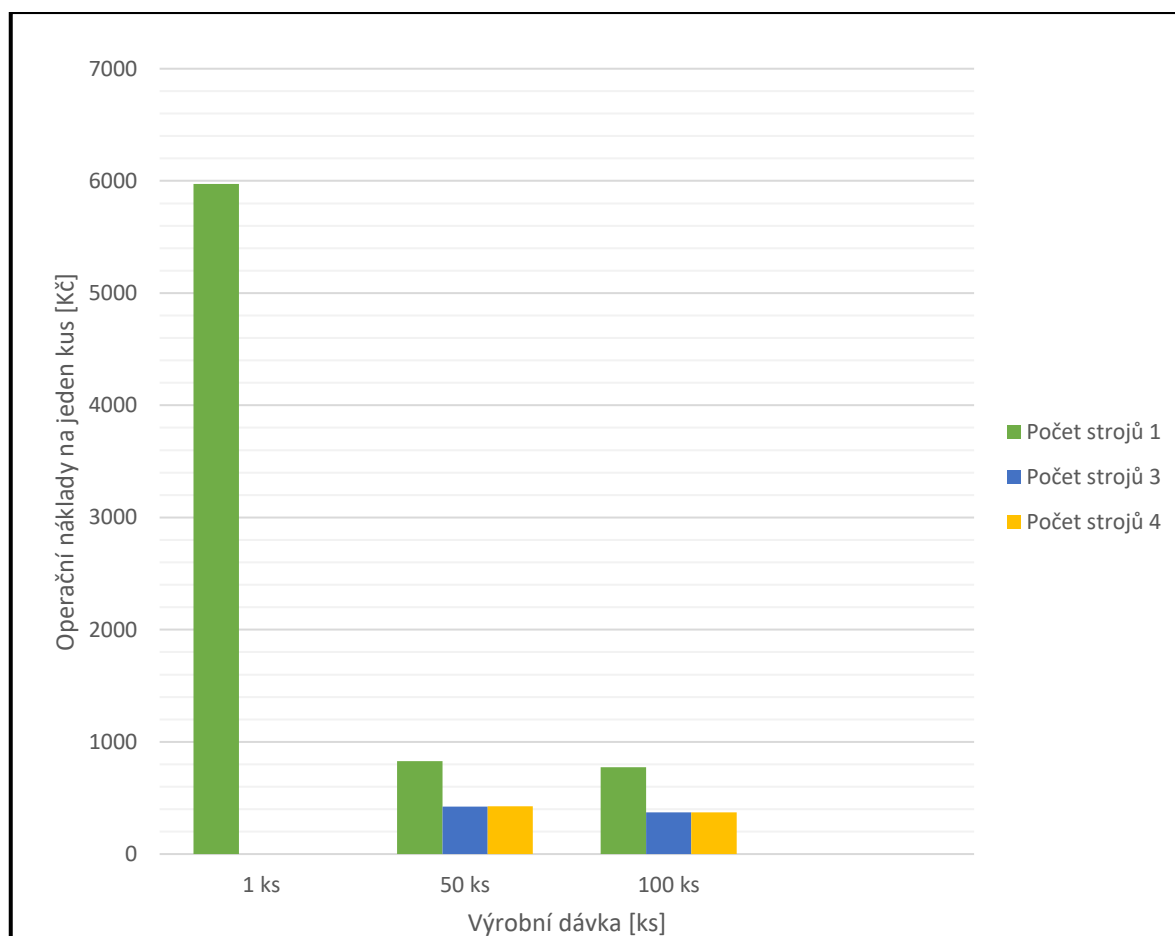
6.2 Hodnocení metod

Porovnání variant, kde stávající metoda používá k výrobě součástky Bonnet 1 stroj a navrhovaná metoda s počtem strojů 3 a 4 vychází nejvýhodněji z pohledu operačních nákladů na jeden kus u metody s počtem strojů 3 a výrobní dávce 100 ks. Při roční výrobní dávce 4000 ks jsou celkové operační náklady 1 483 760 Kč. Celková roční úspora proti stávající variantě je 1 614 560 Kč. Porovnání veškerých metod je uvedeno v tabulce 14.

Tab. 14 Ekonomické vyhodnocení variant.

Varianta	Náklady na jeden kus při dávce [Kč]:			Celkové náklady při dávce 100 ks a roční sérii [Kč]:
	1 ks	50 ks	100 ks	4000 ks
Počet strojů 1	5972,22	827,08	774,58	3 098 320
Počet strojů 3	-	423,44	370,94	1 483 760
Počet strojů 4	-	425,13	372,63	1 490 520

Grafické znázornění operačních nákladů na kus při různých dávkách je uvedeno na obr. 37.



Obr. 37 Operační náklady na jeden kus.

7 DISKUZE

Firma díky svému modernímu zázemí a širokému spektru nabízených technologií a služeb vešla do podvědomí mnoha českých i zahraničních firem, které jsou špičkami ve svém oboru. Má to však také za následek zavádění požadavků těchto firem na kvalitu celého systému. Firma se v posledních letech velmi dynamicky rozvíjí a kromě pozitivních změn v podobě zvýšení zisků má tato změna i některá úskalí, se kterými se musí vypořádat. Jedním z mnoha nástrojů, který dokáže řešit problematiku dynamicky se rozvíjející firmy a s tím související změny je racionalizace výroby, kterou se zabývá tato práce.

Prvním racionalizačním řešením výroby součástky Bonnet je porovnání z pohledu času konvenčního (Koncentricky) a adaptivního trochoidního (Waveform) obrábění v programu Edgecam. Obě tyto varianty jsou aplikovány na HPC fréze Alu RF 100A od firmy Gühring. Z dosažených výsledků provedených na pěti úsecích součástky Bonnet, které se hrubují a jsou z hlediska času nejnáročnější, vyšla ve čtyřech případech časově lépe varianta A konvenčního (Koncentricky) obrábění. Zde se ukázalo, že ne vždy je z pohledu času výhodnější alternativní technicky inovativní technologie v podobě adaptivního trochoidního (Waveform) obrábění. Je to dáno komplexností a rozměry obráběné součástky, kde převažují vedlejší časy, a proto je navržena varianta C, která kombinuje z pohledu času nejvýhodnější úseky variant A a B. Slabina této metody spočívá v rozdílném času při teoretické simulaci v programu Edgecam a reálného času na stroji. I když program Edgecam zahrnuje do konečného času operace výměnu nástroje a vedlejší pohyby tak i přes to je konečný čas na stroji vyšší. Je to z důvodu dynamiky daného stroje, se kterou program Edgecam nepočítá. Dynamika není u všech strojů stejná, tudíž i časy na různých typech strojů jsou různé.

Druhé racionalizační řešení výroby součástky Bonnet spočívá v zavedení VSO, kde je k dalším výpočtům použita varianta C z předchozího experimentu. Základním výpočtem je stanovení teoretického počtu strojů, který vyšel 3,68. Z tohoto výpočtu je dané, že je vycházeno z variant s počtem strojů 3 a 4. Samotný výpočet výhodnější varianty počtu strojů spočívá v porovnání nákladů na jeden kus, které vyšli u jednotlivých variant. Výhodnější počet strojů u VSO je 3, který vyšel z hlediska operačních nákladů na jeden kus. Pokud se obě racionalizační řešení zkombinují a porovnají se stávajícím stavem vyjde produktivita práce výrazně vyšší. Je však nutné počítat s případem, kdy součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů dosahuje hodnot $k_{zm} \geq 1$. V tomto případě nemá pracovník čas na oddych a je nutné naplánovat přestávky, které znamenají zastavení výroby a snížení produktivity se kterou bylo v teoretických propočtech VSO počítáno. Hranice maximálního dosaženého zvýšení produktivity práce je však těžko stanovitelná, jedná se o proces neustálého zlepšování.

Návrhy na zlepšení:

- Firma nemá zkušenosti pracovat s nástroji štíhlé výroby a velmi zde chybí TQM, který klade důraz na řízení kvality ve všech dimenzích organizace. a zapojuje všechny její členy se zaměřením na dlouhodobý úspěch dosahovaný prostřednictvím uspokojení zákazníka a prospěšnosti pro všechny členy organizace jakož to i pro společnost. Je třeba reorganizovat organizační strukturu, která by jasně vymezovala její stupně a tím i možnost delegovat.

- Většina zaměstnanců při programování v programu Edgecam, který mají k dispozici na pracovišti 5-ti osých fréz nebere v potaz alternativní strategii obrábění. Dle výsledků této práce je zřejmé, že každá z těchto variant má své praktické využití. Na každý úsek lze aplikovat obě strategie, ale jen jedna je z pohledu času ta výhodnější. Vše záleží na mnoha faktorech, které se více či méně projeví na konečném čase.
- Při výrobě součástky Bonnet, kde je první a druhá poloha obráběna stejnými nástroji na jednom stroji současně, dochází k časovým ztrátám v podobě výměny nástrojů. Dochází k tomu, protože jsou obě polohy programovány odděleně tj. nejprve je kompletně obrobena první poloha a až poté ta druhá. Přitom obě polohy používají ve většině případů stejné nástroje. Jeden určitý nástroj, který v první poloze hrubuje např. kapsu a ve druhé poloze hrubuje vybrání 110 x 80 mm by mohl tyto dva úseky bez výměny nástroje obrobit současně. Tímto vzniká neproduktivní čas v podobě výměny nástroje, kterých je při výrobě této součástky Bonnet čtyři. Pokud je počítáno 6 sekund na výměnu nástroje, je čas ušetřený tímto krokem 24 sekund.

ZÁVĚR

Náplní této práce je racionalizace výroby, která v souboru technicko-organizačních a psychologických metod, postupů a opatření vede ke zvýšení produktivity práce. Řešení zvýšení produktivity za cenu minimálních investic v podobě porovnání strategií obrábění v programu Edgecam a zavedení VSO.

Důležitá fakta při tvorbě této práce:

- Stávající varianta používá k výrobě 1 stroj, který je programovaný v programu Edgecam, avšak bez porovnání mezi strategií konvenčního obrábění (Koncentricky) a adaptivního trochoidního obrábění (Waveform).
- U varianty A při hrubování vybraných úseků je dosaženo času 3,92 min.
- U varianty B při hrubování vybraných úseků je dosaženo času 4,38 min.
- Varianta C je kombinací nejvýhodnějších úseků podle času, kde výsledný čas je 3,73 min.
- Počet kusů vyrobených za jednotku času jedním strojem jsou 3 ks, při VSO a počtu strojů 3 je množství vyrobených kusů za jednotku času 10 ks a při VSO a počtu strojů 4 je množství vyrobených kusů za jednotku času 13 ks.
- Operační náklady při výrobě jedním strojem na výrobu jednoho kusu jsou 5972,22 Kč, při dávce 50 ks jsou 827,08 Kč a při dávce 100 ks jsou 774,58 Kč.
- Operační náklady při výrobě třemi stroji při dávce 50 ks jsou 423,44 Kč a při dávce 100 ks jsou 370,94 Kč.
- Operační náklady při výrobě čtyřmi stroji při dávce 50 ks jsou 425,13 Kč a při dávce 100 ks jsou 372,63 Kč.

Při výrobě jednoho kusu součástky Bonnet jsou náklady vysoké, protože v celkovém čase má výrazně větší zastoupení položka času t_{BC} . Pokud je porovnána roční série 4000 ks při výrobní dávce 100 ks, tak varianta s počtem strojů 3 má úsporu nákladů o 6 760 Kč proti metodě se čtyřmi stroji a 1 614 560 Kč proti metodě s jedním strojem. Dle množství vyrobených kusů za jednotku času vyšla se 13 ks nejvýhodněji metoda se čtyřmi stroji. Rozhodnutí, zda se řídit operačními náklady na jeden kus, které vyšli lépe u metody se třemi stroji nebo počtem kusů za jednotku času vycházející lépe se čtyřmi stroji zaleží na aktuální časové situaci zakázky či aktuální vytíženosti výrobních kapacit. Nicméně při zavedení VSO v kombinaci s porovnáním alternativních strategií obrábění by znamenalo pro firmu velké úspory nejen při aplikaci na součástce Bonnet, ale i na další výrobky v součástkové základně této firmy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PROKOP, Jaroslav. *Přednáška: Technologická příprava výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016.
2. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-X.
3. MARTINCOVÁ, Lada. *Technologické aspekty vícestrojové obsluhy: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 79 s., příloh 1. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
4. POKORNÝ, Zdeněk. *Zásady vícestrojové obsluhy: nástavbový odborný kurs normování a racionalizace práce*. Brno: Dům techniky ČSVTS, 1989. ISBN 80-029-9650-X.
5. ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy: část obrábění*. [online]. [vid. 2017-01-06] Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
6. KALNAŠI, R. *Ekonomická analýza obráběcího procesu. Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 91 s. 16 příloh. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
7. Normování časů. *ELUC* [online]. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1345>
8. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
9. Aplikace HPC a strategické otázky. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/aplikace-hpc-a-strategicke-otazky_11363.html
10. TRIBOS-R. *Shunk* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z: http://cz.schunk.com/cz_en/clamping-technology/series/tribos-r/
11. Frézování. *Techstroj* [online]. ©2012 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T16.pdf>
12. Mastertool katalog. *Wnt* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://www.wnt.com/cz/download.html>
13. Evoluce v trochoidním frézování. *Mmspektrum* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/evoluce-v-trochoidnim-frezovani.html>
14. ISCAR UK potvrzuje výjimečnou produktivitu hrubování Waveform od Edgecamu. *CAD* [online]. ©2009-2017 [cit. 2017-01-18]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/component/content/article/4770.html>
15. Příručka pro technology: Dynamické frézování - využití kompenzačního přístupu. *Mmspektrum* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-dynamicke-frezovani-vyuziti-kompenzacniho-pristupu.html>
16. EDGECAM Waveform. *Edgecam* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.edgcamcz.cz/edgcam-waveform>

17. Edgecam: Investice do obrábění neměla nikdy větší návratnost. *CAD* [online]. ©2009-2017 [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/4166-edgecam-investice-do-obrazeni-nemela-nikdy-vetsi-navratnost.html>
18. Gühring katalog. *Gühring* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://www.guehring.cz/?page_id=773
19. C 400. *Hermle* [online]. [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://www.hermlemachine.com/cms/en/products/product_overview/bearbeitungszentrum_c400/
20. Posuvná měřítka digitální. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/posuvne-meritko-mitutoyo.html>
21. Měřidla drsnosti povrchu. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-3062-drsnomer-sj410.html>
22. VUSTE, ODBOR 43 - ROZVOJ VÝROBNÍCH ZDROJŮ. 1980. *Třídník výrobních strojů a zařízení ve strojírenství*. 326 s.
23. Třídotekové dutinoměry. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-486-tridotekovy-dutinomer-mitutoyo.html>
24. Posuvné hloubkoměry klasické. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-429-hloubkomer.html>
25. Šablony a spároměry. *M&B Calibr* [online]. [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-78-sablona-polomerova-kinex.html>
26. HLINÍKOVÝ PLECH EN AW 7075. *IMC Slovakia* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.hlinik.sk/produkty/hlinikove-plechy/EN-AW-7075>
27. Alu 7075. *Haba* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.haba.it/up/ktml/files/produkte/aluminium/cz/Alu7075infocz.pdf>
28. EN AW-7075 T6 (AlZnMgCu1,5). *Alunet* [online]. ©2017 [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.alunet.cz/ENAW-7075>
29. NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. *Racionalizace výroby* [online]. [cit. 2017-01-10]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizace-vyroby.pdf>
30. KOŠTURIÁK, Ján a Zbyněk FROLÍK. *Štíhlý a inovativní podnik*. Praha: Alfa Publishing, 2006. Management studium. ISBN 80-868-5138-9.
31. JUROVÁ, Marie. *Výrobní procesy řízené logistikou*. Brno: BizBooks, 2013. ISBN 978-80-265-0059-9.
32. OTTICHOVÁ, Klára. *Tvorba hodnotového řetězce ve vybraném podniku*. Brno, 2010. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Ing. Viliam ZÁTHURECKÝ, MBA.
33. JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4370-9.
34. MLČOCHOVÁ, Petra. *Případová studie zavádění Just in time*. Brno, 2006. Diplomová práce. Masarykova univerzita. Vedoucí práce Ing. Ondřej Částek.

35. Airbus (A320 / A330 / A340). *Zodiac Aerospace* [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.zodiacaerospace.com/en/products-services/cabin/cabin-interior-solutions/galleys/retrofits/airbus-a320-a330-a340>
36. Základy lomové mechaniky. *Student chytrák* [online]. ©2007 [cit. 2017-02-04]. Dostupné z: http://student.chytrak.cz/unava/08%20zaklady_LM.pdf
37. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-736-1011-6.
38. Jednotné normativy vrtačky. *Vysoké učení technické v Brně: Fakulta strojího inženýrství* [online]. [cit. 2017-01-25]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/etr_technologicke_procesy/ETR_cviceni_03/normativ_vrtacky.pdf
39. Technologické postupy. *Techstroj* [online]. ©2012 [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T14.pdf>
40. Návod na tvorbu výrobního postupu. *České vysoké učení technické: Fakulta strojní* [online]. [cit. 2017-01-08]. Dostupné z: http://utopm.fsid.cvut.cz/podklady/TE2/navod_vp.pdf
41. Zeiss Contura. *Zeiss* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/bridge-type-cmms/contura.html>
42. Hydraulický strojní svěrák VHO-6. *Vabex* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://shop.strojniveraky.cz/product_info.php?cPath=56&products_id=108
43. Makro-Grip Workholding. *Lang* [online]. ©2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.lang-technovation.com/en/artikel/gruppen/65339.makro-grip-workholding.html>
44. Makro-Grip 5-Axis Vise 125. *Lang* [online]. ©2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.lang-technovation.com/en/products/5-axis-vise-125.html>
45. POUSTKA, Václav. Gühring: Fréza ALU RF 100 A. [cit. 2017-05-13].
46. Trochoid. *Wolfram mathworld* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://mathworld.wolfram.com/Trochoid.html>
47. The Appeal Of Peel Milling. *Modern machine shop* [online]. ©2017 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmsonline.com/articles/the-appeal-of-peel-milling>
48. OLDŘICH, Lhotský. Metody a techniky organizace a normování práce. *Mzdová praxe* [online]. ©2016 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.mzdovapraxe.cz/archiv/dokument/doc-d1017v993-metody-a-techniky-organizace-a-normovani-prace/>
49. Technologické postupy. *Techstroj* [online]. ©2012 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T14.pdf>
50. EDGE CAM Frézování. *Edgecam* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.edgecamcz.cz/edgecam-production-milling>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAM	[-]	computer aided manufacturing
CNC	[-]	computer numerical control
JIT	[-]	just in time
HPC	[-]	high performance cutting
HSC	[-]	high speed cutting
MMS	[-]	minimální množství kapaliny
PDV	[-]	průběžná doba výroby
TQM	[-]	total quality management
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VSO	[-]	vícstrojová obsluha

Symbol	Jednotka	Popis
A_5	[%]	tažnost,
D	[mm]	průměr frézy
D_s	[mm]	průměr frézy
E	[GPa]	modul pružnosti v tahu
G	[S]	elektrická vodivost
H	[mm]	celkový přírůstek na obrábění
L	[mm]	celková dráha nástroje
M_{tAC}	[Kč]	mzdový tarif na jednu hodinu práce vztažený k času t_{AC}
M_{tBC}	[Kč]	mzdový tarif na jednu hodinu práce vztažený k času t_{BC}
N_{hs}	[Kč]	náklady na jednu hodinu provozu stroje
N_{mAC}	[Kč]	náklady na mzdy na obrobek jednoho kusu vztažené k času t_{AC}
N_{mBC}	[Kč]	náklady na mzdy na obrobek jednoho kusu vztažené k času t_{BC}
N_{nQ}	[Kč]	náklady na obrobek jednoho kusu, nezávislé na počtu kusů ve výrobní dávce
N_{opQ_m}	[Kč]	operační náklady na výrobu jednoho kusu závislé na výrobní dávce a počtu strojů m
N_{psAC}	[Kč]	náklady na provoz stroje na obrobek jednoho kusu vztažené k času t_{AC}
N_{psBC}	[Kč]	náklady na provoz stroje na obrobek jednoho kusu vztažené k času t_{BC}
N_{100_m}	[Kč]	celkové operační náklady na roční sérii při výrobní dávce 100 kusů
N_{zQ_m}	[Kč]	náklady na obrobek jednoho kusu, závislé na počtu kusů ve výrobní dávce při obsluze m strojů
Q	[cm ³ ·min ⁻¹]	objem materiálu za časovou jednotku

R _a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R _m	[Mpa]	mez pevnosti
R _{p0,2}	[Mpa]	smluvní mez kluzu
R _s	[%]	režie
T	[min]	čas směny
T _A	[min]	čas jednotkový
T _{A1}	[min]	čas jednotkové práce
T _{A2}	[min]	čas jednotkových obecně nutných přestávek
T _{A3}	[min]	čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek
T _B	[min]	čas dávkový
T _{B1}	[min]	čas dávkové práce
T _{B2}	[min]	čas dávkových obecně nutných přestávek
T _{B3}	[min]	čas dávkových podmíněčně nutných přestávek
T _C	[min]	čas směnový
T _{C1}	[min]	čas směnové práce
T _{C2}	[min]	čas směnových obecně nutných přestávek
T _{C3}	[min]	čas směnových podmíněčně nutných přestávek
T _D	[min]	osobní ztráty času ve směně
T _{D1}	[min]	osobní ztráty času ve směně zaviněné
T _{D2}	[min]	osobní ztráty času ve směně nezaviněné
T _E	[min]	technickoorganizační ztráty času ve směně
T _{E1}	[min]	čas více práce
T _{E2}	[min]	čas čekání
T _F	[min]	ztráty času ve směně způsobené vyšší mocí
T _N	[min]	čas směny normovatelný
T _Z	[min]	čas směny ztrátový
T ₁	[min]	čas práce
T ₂	[min]	čas obecně nutných přestávek ve směně
T ₃	[min]	čas podmíněčně nutných přestávek ve směně
a _e	[mm]	radiální hloubka řezu
a _p	[mm]	axiální hloubka řezu
c	[mm]	bezpečnostní náběh
d _v	[ks]	výrobní dávka
f _n	[mm]	posuv na otáčku
f _z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet třísek
k _{BC}	[-]	přirážka dávkového a směnového času
k _C	[-]	přirážka směnového času

k_{voQ_m}	[-]	součinitel VSO při dávce Q kusů a obsluze m strojů
k_{vsm}	[-]	součinitel využití stroje při obsluze m strojů
k_z	[-]	součinitel zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje
k_{zm}	[-]	součinitel zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů
l	[mm]	délka frézované plochy
l_n	[mm]	náběh nástroje
l_p	[mm]	přeběh nástroje
m	[-]	počet obsluhovaných strojů
m_t	[-]	teoretický počet obsluhovaných strojů
n_{km}	[ks]	počet kusů obrobených za jednotku času při obsluze m strojů
n_s	[min ⁻¹]	otáčky frézy
t_A	[min]	čas jednotkový
t_{ABC}	[min]	jednotkový čas s přírážkou času dávkového a směnového
t_{AC}	[min]	jednotkový čas s přírážkou času směnového
t_{AS}	[min]	čas jednotkový strojní
t_{AS}^A	[min]	čas jednotkový strojní varianty A
t_{AS}^B	[min]	čas jednotkový strojní varianty B
t_{AS}^C	[min]	čas jednotkový strojní varianty C
t_{ASsm}	[min]	průměrný strojní čas za směnu
t_{AX}	[%]	čas nepravidelné obsluhy
t_{A1}	[min]	čas jednotkové práce
t_{A11}	[min]	čas jednotkové práce za klidu stroje
t_{A12}	[min]	čas jednotkové práce za chodu stroje
t_{A13}	[min]	čas jednotkové práce strojně ruční
t_{A2}	[min]	čas jednotkových obecně nutných přestávek
t_{A201}	[min]	přestávka na oddech
t_{A211}	[min]	čas jednotkových obecně nutných přestávek za klidu stroje
t_{A221}	[min]	čas jednotkových obecně nutných přestávek za chodu stroje
t_{A3}	[min]	čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek
t_{A31}	[min]	čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek za klidu stroje
t_{A32}	[min]	čas jednotkových podmíněčně nutných přestávek za chodu stroje
t_{A32VSO}	[min]	čas čekání pracovníka na konec cyklu stroje při VSO
t_B	[min]	čas dávkový
t_{BC}	[min]	dávkový čas s přírážkou času směnového
t_{B1}	[min]	čas dávkové práce
t_{B11}	[min]	čas dávkové práce za klidu
t_{B12}	[min]	čas dávkové práce za chodu
t_{B2}	[min]	čas dávkových obecně nutných přestávek

t_{B201}	[min]	přestávka na oddech
t_{B211}	[min]	čas dávkový na oddech za klidu
t_{B221}	[min]	čas dávkový na oddech za chodu
t_{B3}	[min]	čas dávkových podmíněčně nutných přestávek
t_{B31}	[min]	čas dávkových podmíněčně nutných přestávek za klidu
t_{B32}	[min]	čas dávkových podmíněčně nutných přestávek za chodu
t_C	[min]	čas směnový
t_{C1}	[min]	čas směnové práce
t_{C11}	[min]	čas směnové práce za klidu
t_{C12}	[min]	čas směnové práce za chodu
t_{C2}	[min]	čas směnových obecně nutných přestávek
t_{B201}	[min]	přestávka na oddech
t_{B211}	[min]	čas směnový na oddech za klidu
t_{B221}	[min]	čas směnový na oddech za chodu
t_{C3}	[min]	čas směnových podmíněčně nutných přestávek
t_{C31}	[min]	čas směnových podmíněčně nutných přestávek za klidu
t_{C32}	[min]	čas směnových podmíněčně nutných přestávek za chodu
t_{co}	[min]	čas cyklu operace při obsluze jednoho stroje
t_{com}	[min]	čas cyklu operace při obsluze m strojů
t_{cs}	[min]	čas cyklu stroje
t_g	[min]	čas výrobku
t_{g7}	[min]	čas pohybu
t_{g71}	[min]	čas přeměny
t_{g711}	[min]	čas přeměny působením pracovníka
t_{g712}	[min]	čas přeměny působením výrobního zařízení
t_{g713}	[min]	čas přeměny působením přírodních sil
t_{g72}	[min]	čas přemístění
t_{g721}	[min]	čas přepravy
t_{g722}	[min]	čas umístování
t_{g8}	[min]	čas balení
t_{g9}	[min]	čas klidu
t_{g91}	[min]	čas uložení
t_{g92}	[min]	čas kontroly
t_{mA}	[min]	jednotkový čas stroje
t_{mA4}	[min]	jednotkový čas chodu stroje
t_{mA41}	[min]	jednotkový čas hlavního chodu stroje
t_{mA411}	[min]	jednotkový čas automatického chodu stroje
t_{mA412}	[min]	jednotkový čas řízeného chodu stroje

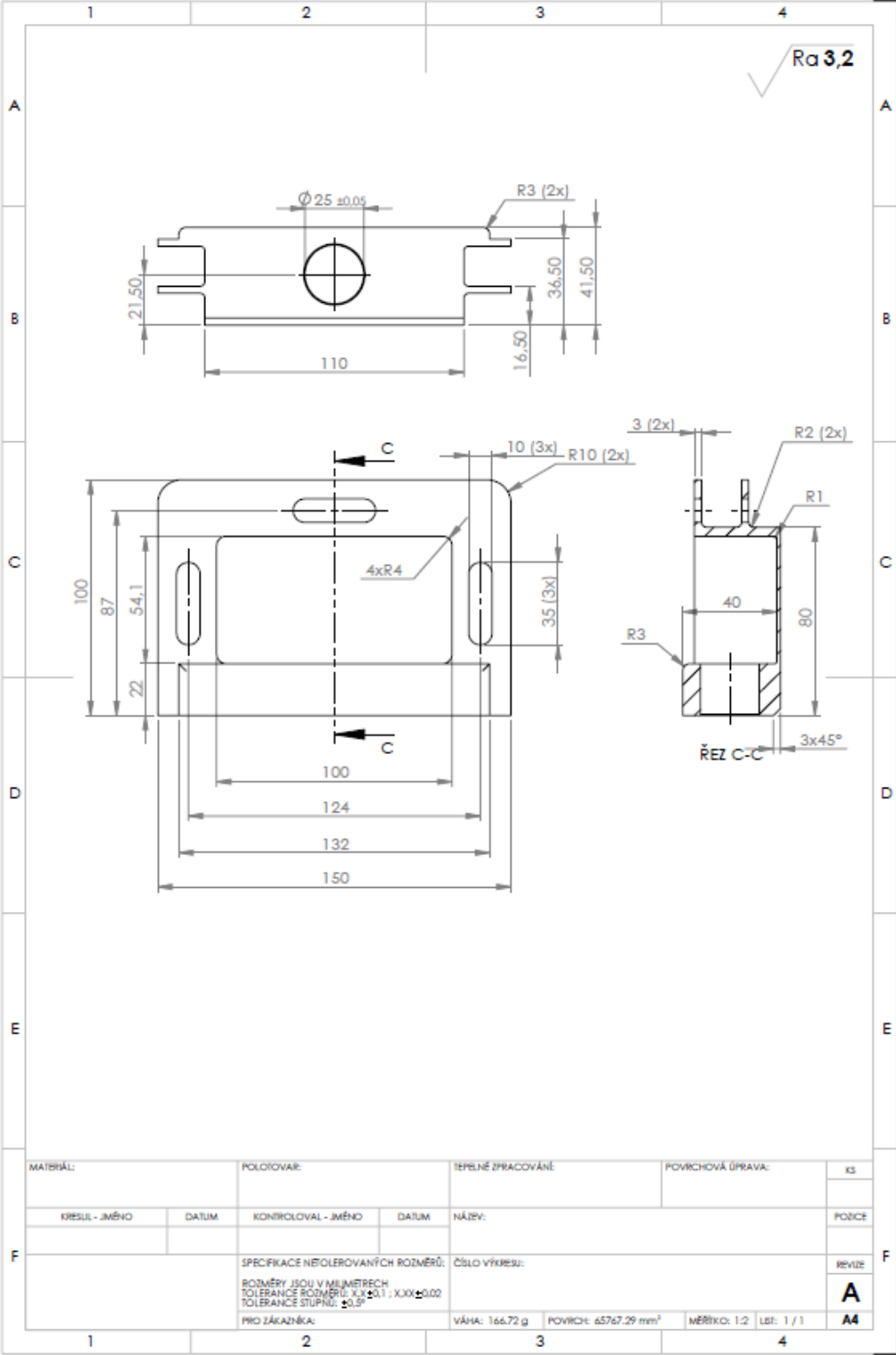
t_{mA42}	[min]	jednotkový čas pomocného chodu stroje
t_{mA5}	[min]	jednotkový čas klidu stroje
t_{mA6}	[min]	jednotkový čas interference stroje
t_{vs}	[min]	čas využítí stroje
t_z	[min]	čas zaměstnanosti pracovníka u jednoho stroje
t_{zm}	[min]	čas zaměstnanosti pracovníka při obsluze m strojů
v_c	$[m \cdot min^{-1}]$	řezná rychlost
v_f	$[mm \cdot min^{-1}]$	rychlost posuvu
x	[mm]	délka
y	[mm]	délka
z	[-]	počet zubů frézy
α	$[10^{-6} \cdot K^{-1}]$	koeficient tepelné roztažnosti
ϵ_r	[°]	úhel špičky vrtáku
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	měrná tepelná vodivost
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	hustota

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres součástky Bonnet.
2. Operační návodka - obvod.
3. Operační návodka - vrtání Ø7,8 mm.
4. Operační návodka - horní plocha 1. poloha.
5. Operační návodka - kapsa.
6. Operační návodka - drážky 1. poloha (3x).
7. Operační návodka - rádius R3.
8. Operační návodka - vybrání po obvodě, 3x45° (2x).
9. Operační návodka - horní plocha 2. poloha.
10. Operační návodka - vybrání 110x80, 3x45°.
11. Operační návodka - drážky 2. poloha (3x).

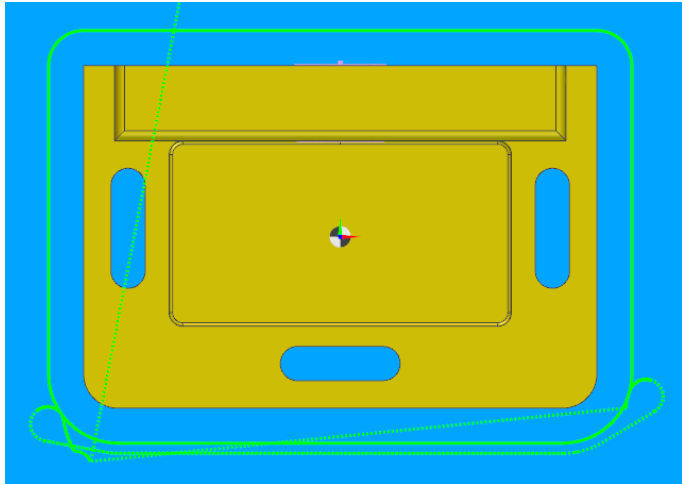
PŘÍLOHA 1

Výkres součástky Bonnet.



PŘÍLOHA 2

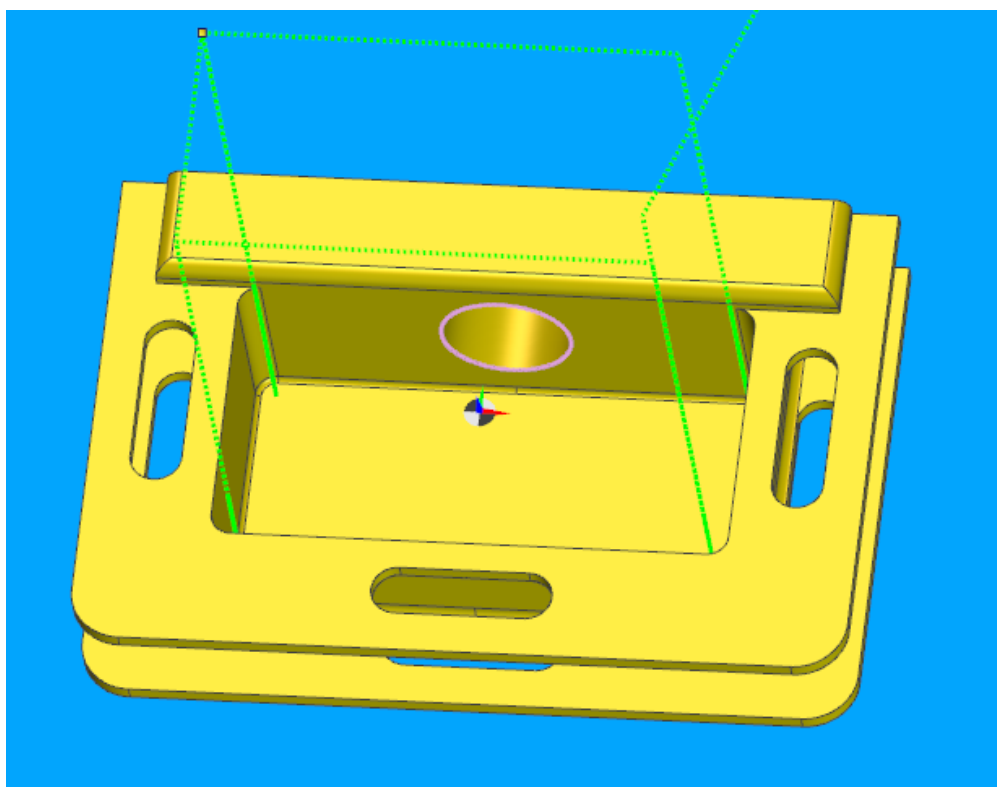
Operační návodka - obvod.

OPERAČNÍ NÁVODKA								Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm		
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl			Součást: Bonnet					Číslo operace: 07/07		
Stroj: HERMLE C400U			Materiál: EN-AW 7075 T651					Počet kusů: 1, 50, 100		
										
Popis úseku	Nástroj	Měřidlo	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm] [%]*	i [mm]	t_{AS} [min]	t_{vn} [min]
Hrubování obvod	T1	M1	502,4	8000	0,08	21,5	25*	2	0,66	0,1
Dokončení obvod	T1	M7	502,4	8000	0,08	21,5	0,2	2	0,6	0,1
Σ									1,27	0,2

PŘÍLOHA 3

Operační návodka - vrtání Ø7,8 mm.

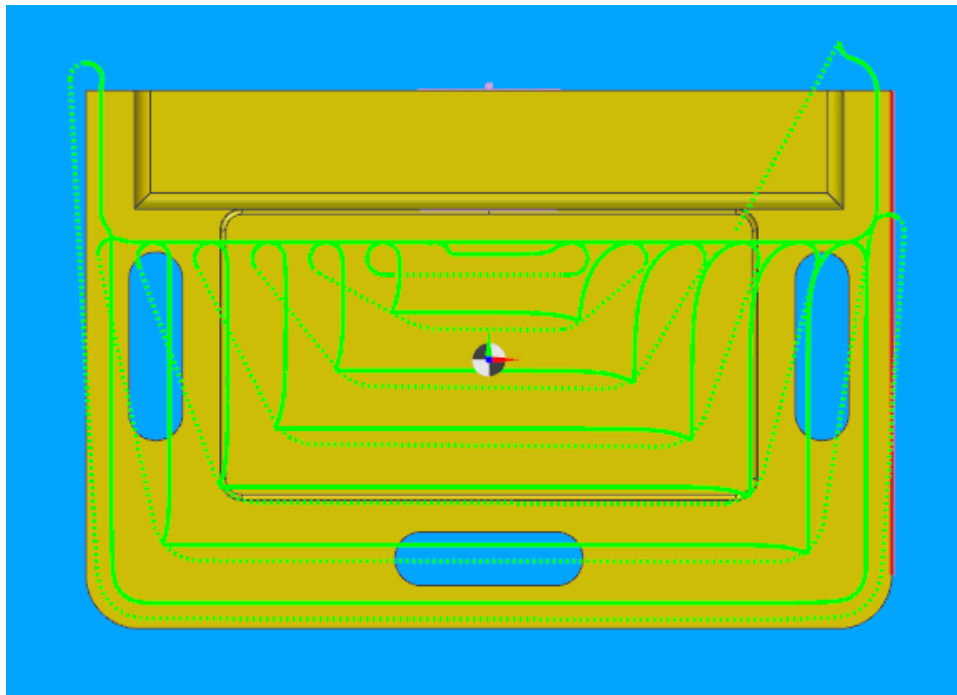
OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

PŘÍLOHA 4

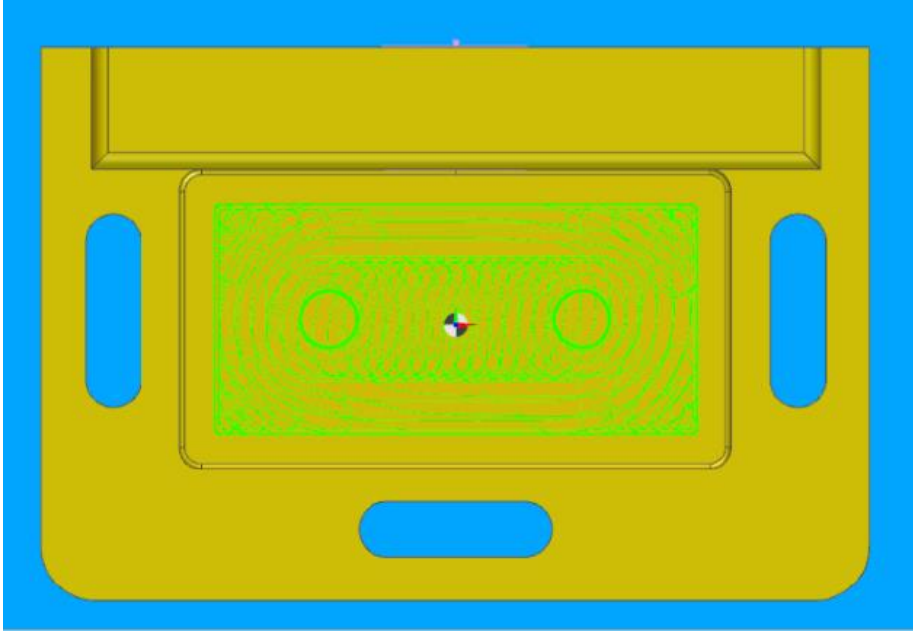
Operační návodka - horní plocha 1. poloha.

OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

PŘÍLOHA 5

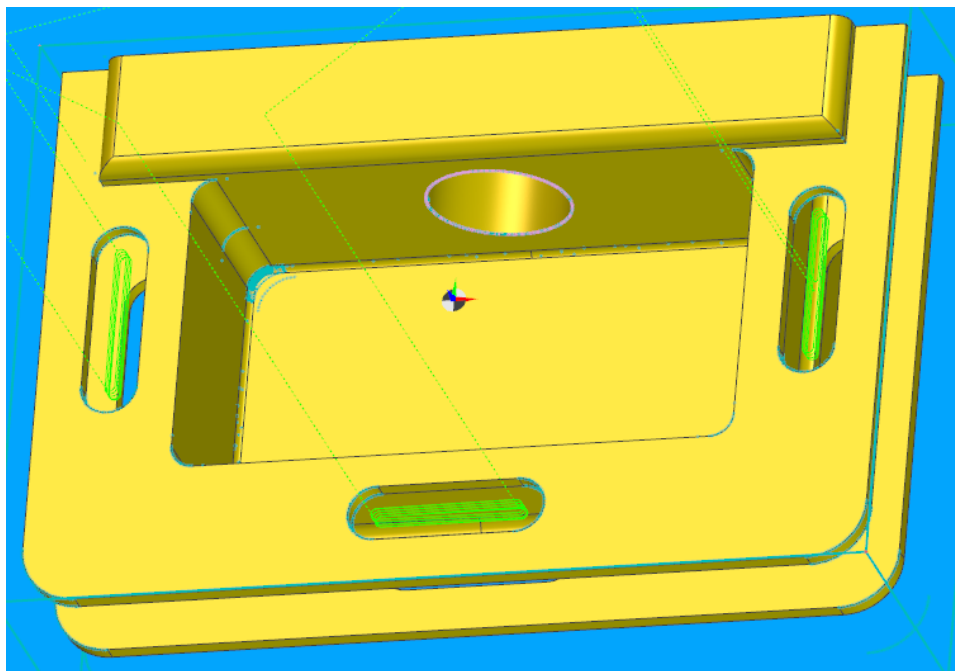
Operační návodka - kapsa.

OPERAČNÍ NÁVODKA							Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm			
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl		Součást: Bonnet					Číslo operace: 07/07			
Stroj: HERMLE C400U		Materiál: EN-AW 7075 T651					Počet kusů: 1, 50, 100			
										
Popis úseku	Nástroj	Měřidlo	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm] [%]*	i [mm]	t_{AS} [min]	t_{vn} [min]
Hrubování kapsy	T3	M2 M5 M6	500	13270	0,125	17,5	30*	2	1,63	0,1
Dokončení dna kapsy	T7		301,44	8000	0,083	0,2	70*	1	0,46	0,1
Dokončení dna kapsy R1	T8		282,6	7500	0,089	12	0,2	3	0,46	0,1
Dokončení dna kapsy R1xL25	T9		122,46	6500	0,077	5	-	4	0,32	0,1
Dokončení dna kapsy R1xL41	T10		122,46	6500	0,067	3	-	5	0,43	0,1
Σ									3,32	0,5

PŘÍLOHA 6

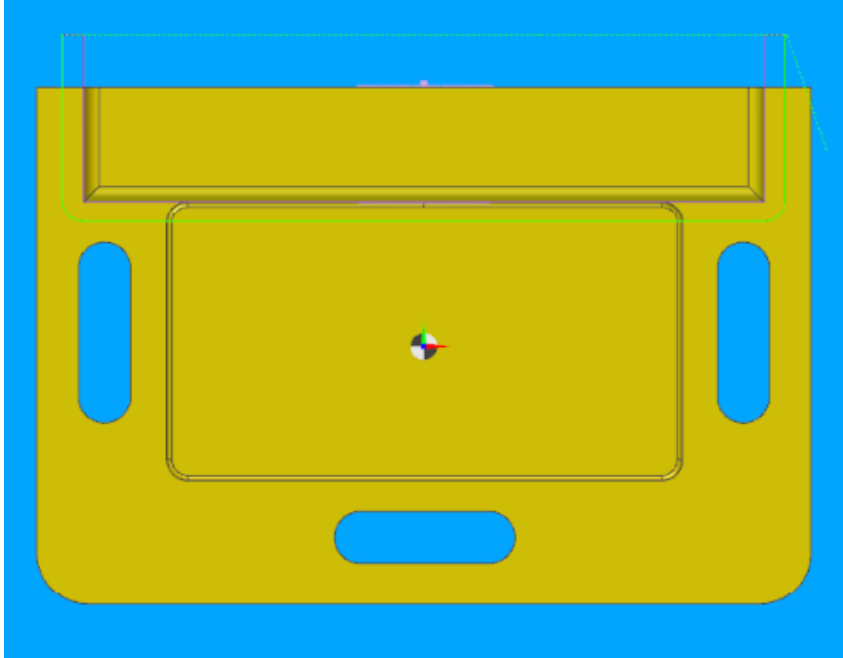
Operační návodka - drážky 1. poloha (3x).

OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

PŘÍLOHA 7

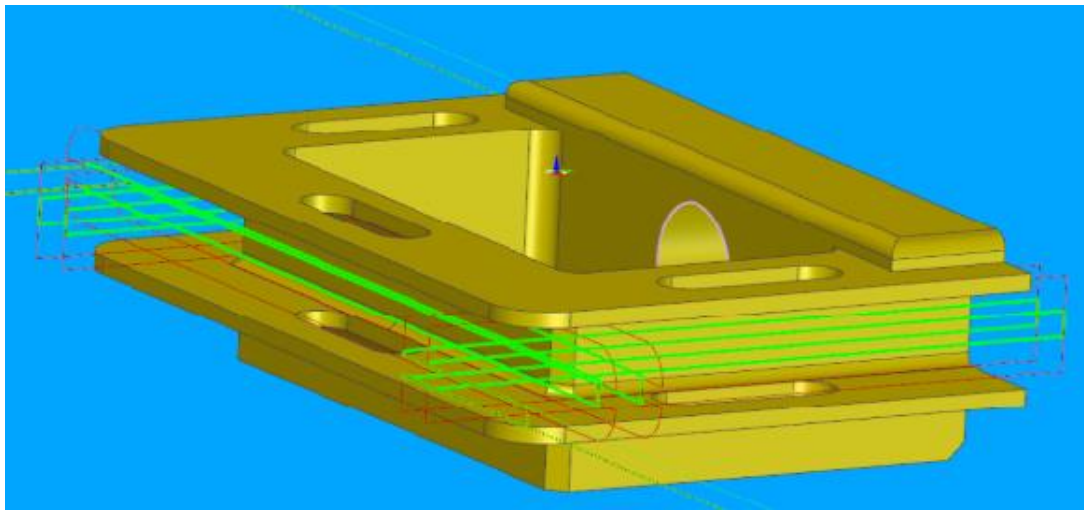
Operační návodka - rádius R3.

OPERAČNÍ NÁVODKA							Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm			
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl		Součást: Bonnet					Číslo operace: 07/07			
Stroj: HERMLE C400U		Materiál: EN-AW 7075 T651					Počet kusů: 1, 50, 100			
										
Popis úseku	Nástroj	Měřidlo	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm] [%]*	i [mm]	t_{AS} [min]	t_{vn} [min]
Hrubování rádius R3	T5	M6	301,44	8000	0,094	2,9	95*	1	0,14	0,1
Dokončení rádius R3	T5		301,44	8000	0,094	0,1	0,1	1	0,14	-
Σ									0,32	0,1

PŘÍLOHA 8

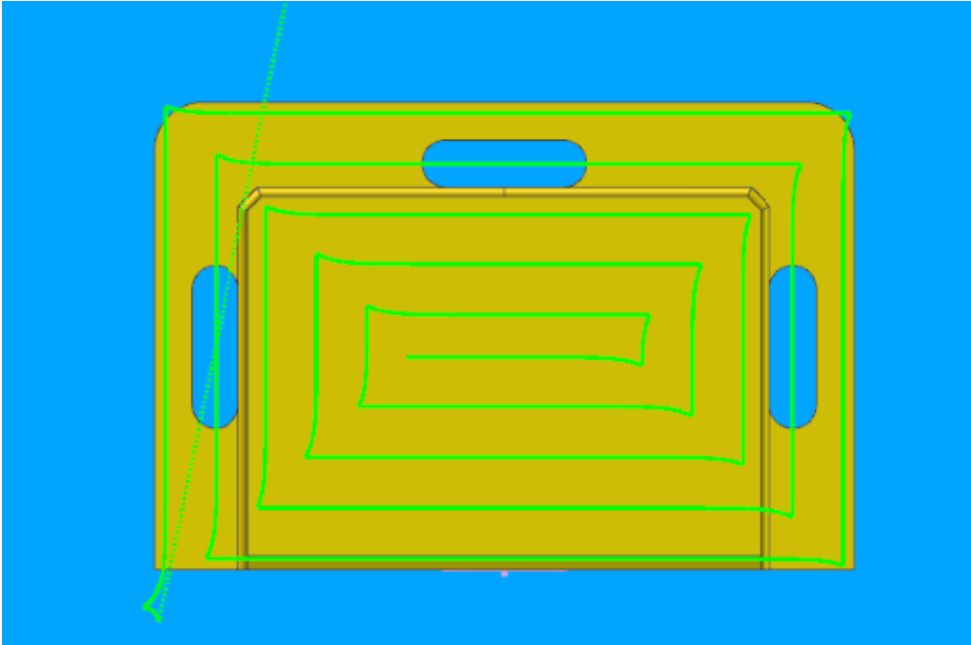
Operační návodka - vybrání po obvodě, $3 \times 45^\circ$ (2x).

OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

PŘÍLOHA 9

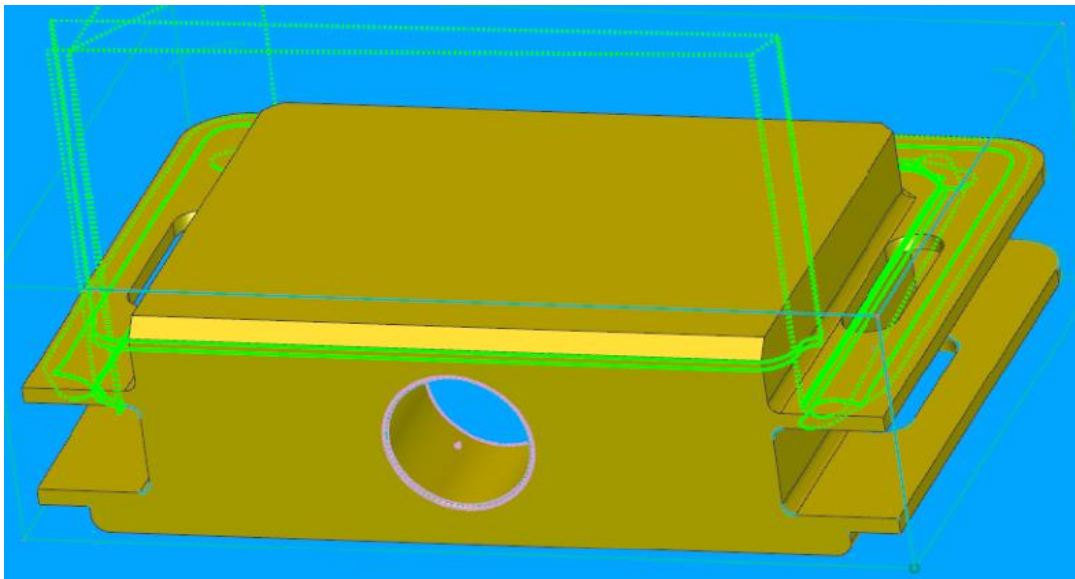
Operační návodka - horní plocha 2. poloha.

OPERAČNÍ NÁVODKA								Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm		
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl			Součást: Bonnet			Číslo operace: 07/07				
Stroj: HERMLE C400U			Materiál: EN-AW 7075 T651			Počet kusů: 1, 50, 100				
										
Popis úseku	Nástroj	Měřidlo	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm] [%]*	i [mm]	t_{AS} [min]	t_{vn} [min]
Hrubování horní plochy	T3	M2	450	11937	0,045	8,5	95*	1	1,03	0,1
Dokončení horní plochy	T1		471	7500	0,089	0,2	18	1	0,42	0,1
Σ									1,53	0,2

PŘÍLOHA 10

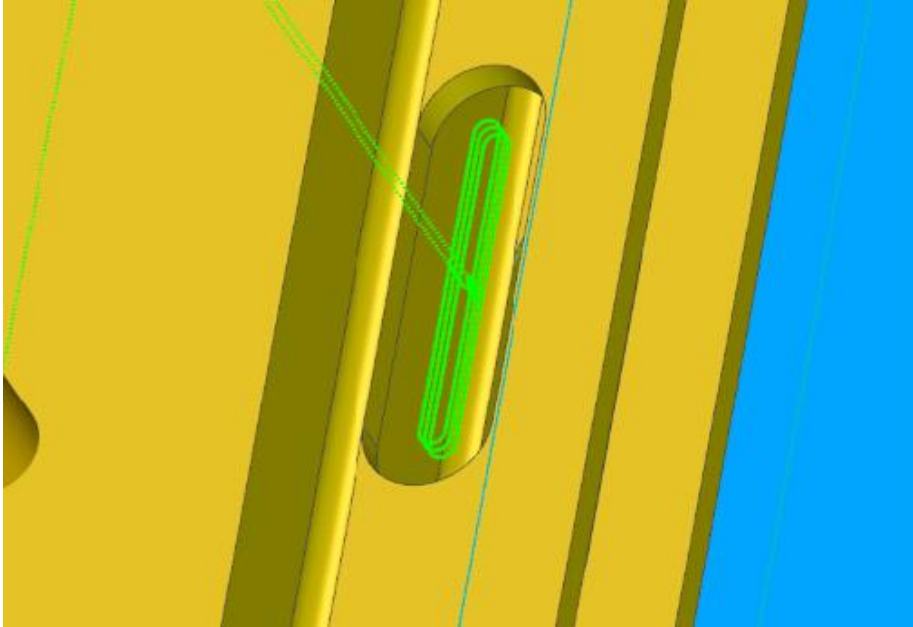
Operační návodka - vybrání 110x80, 3x45°.

OPERAČNÍ NÁVODKA		Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl	Součást: Bonnet	Číslo operace: 07/07
Stroj: HERMLE C400U	Materiál: EN-AW 7075 T651	Počet kusů: 1, 50, 100

[illegible]

PŘÍLOHA 11

Operační návodka - drážky 2. poloha (3x).

OPERAČNÍ NÁVODKA								Úsek: Otvor Ø25±0,05 mm		
Navrhl: Bc. Lukáš Bartl		Součást: Bonnet			Číslo operace: 07/07					
Stroj: HERMLE C400U		Materiál: EN-AW 7075 T651			Počet kusů: 1, 50, 100					
										
Popis úseku	Nástroj	Měřidlo	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm] [%]*	i [mm]	t_{AS} [min]	t_{vn} [min]
Dokončení drážky (3x)	T4	M2 M7	238,64	9500	0,07	1	100*	4	0,45	0,1
Σ									0,45	0,1